ISSN 2074-8906

# ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ИЮЛЬ-СЕНТЯБРЬ

03/2013

Издается с 2002 г.

**ТЕМА НОМЕРА:**

## Современные технологии возбуждения геофизических полей

**ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:**

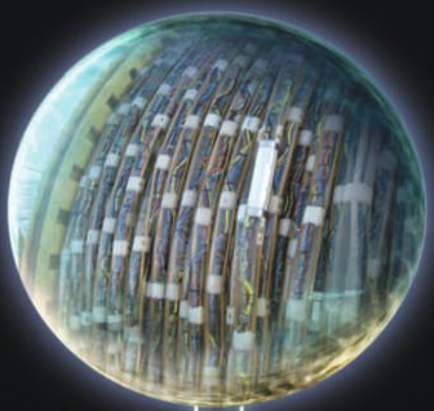
Система управления вибраторами

Электронные словари - кто победил, кто проиграл

XZone® Bottom Fish

XZone® Marsh Line

XZone® Fly Lander



СИ Технолоджи

ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

353477 Россия, Краснодарский край,
г. Геленджик, ул. Ручейная, 8
т.: (86141) 26615, ф.: (86141) 26601
office@intromarin.ru, www.intromarin.ru

## КОЛОНКА РЕДАКТОРА

**Снова сентябрь — с Днем нефтяника!**
Главный редактор журнала П.А.Турлов

**Наши партнеры**
Логотипы организаций, финансово участвующих в издании этого номера журнала

## ТЕМА НОМЕРА:

**Современные технологии возбуждения геофизических полей**

## ГЛАВНАЯ ТЕМА

**Современные технологии возбуждения сейсмических волн ..... 6**
Шнеерсон М.Б., Жуков А.П.

## ВИБРОИСТОЧНИКИ

**Невзрывные сейсмические источники с широким частотным спектром Часть 2. Дебалансные вибраторы ..... 23**
Чичинин И.С., Сагайдачная О.М.

**Низкочастотные свипы с вибраторами NOMAD-65, электроникой Ve464 и программой “CheckSweep” ..... 33**
Даниэль Букар, Жиль Оливрэн, Дени Мужно

## ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ

**Газодинамический источник сейсмических колебаний ..... 44**
Болотов А.А.

**Импульсный электромагнитный источник «Геотон-15». Опыт практического применения ..... 49**
Гурьев С.В., Лопухов Г.П., Юров А.А.

**Развитие импульсных невзрывных сейсмоисточников. Источник «Волгарь-27» с индукционно-динамическим двигателем. ..... 54**
Алелюхин Н.П., Асан-Джалалов О.А.,Ивашин В.В., Иванников Н.А.

**Принцип построения групповых пневматических источников для морской сейсморазведки ..... 62**
Гуленко В.И., Рудаков А.В., Самсонов Е.А.

**«Приборы и системы разведочной геофизики»**
**Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал. Издается с 2002 г.**

**Учредитель**
СРО МОО ЕАГО

**Издатель**
ООО «ИнформГеофиз-Сервис»

**Директор**
Турлов П.А.

**Адрес издательства**
410019, г. Саратов, ул. Крайняя, д. 129
Тел. (8452) 64-14-32

**Главный редактор**
Турлов П.А.
paturlov@mail.ru

**Выпускающий редактор**
Кузнецов И.М

**Координатор проекта**
Матвеев С.А

**Верстка**
Мокроусов Д.В.

**Обложка и оформление**
Мокроусов Д.В.

**Web сайт**
psrgeo.ru

**Тираж отпечатан**
в типографии ООО «Формат» т.: 39-33-77

**Тираж:** 300 экз.

**Подписано в печать**
10.09.2013

**Дата выпуска**
25.09.2013

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций за номером ПИ №77-7906 от 27.04.2001

© **Турлов П.А., составление, 2013**
© **ООО «ИнформГеофизСервис», оформление, 2013**

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

Фото для обложки представлено компанией ЗАО "ГеоСВИП”

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

**О позиционировании пунктов приёма и возбуждения при проведении транзитных сейсморазведочных работ с донным оборудованием ..... 73**
Горбачев С.В., Маев П.А., Егоров А.А.

КОДОИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ

**Исследование возможности и целесообразности применения кодоимпульсного метода для инженерной сейсморазведки ..... 84**
Кострыгин Ю.П.,Удалый М.Н.

**К обоснованию создания кодоимпульсного источника сейсмических волн ..... 97**
Шайдуров Г.Я., Воронцов Ю.С., Кудинов Д.С., Щитников А.А.,Копылов М.А.

ЗАМЕТКИ СУПЕРВАЙЗЕРА

**Предложение ..... 102**
Цыпышев Н.Н.

КНИЖНАЯ ПОЛКА

**Электронные словари — кто победил, кто проиграл ..... 110**
Череповский А.В.

НАШИ ПАРТНЕРЫ

# Снова сентябрь – с Днем нефтяника!

Турлов П.А., СРО МОО ЕАГО, г.Саратов

Уже в который раз мы, сотрудники журнала «Приборы и системы разведочной геофизики», присоединяемся ко всем наши коллегам из российской нефтегазовой отрасли и поздравляем всех работников, имеющих отношение к нефтегазовой индустрии страны, с их профессиональным праздником – Днем работников нефтяной и газовой промышленности. И хотя этот номер журнала с нашими поздравлениями попадет в руки читателей уже после 1-го сентября, мы – редакция журнала – очень надеемся, что наши поздравления будут прочитаны и восприняты как дань уважения силе и мужеству отважных первопроходцев, открывших и освоивших подземные богатства страны, и тех, кто сегодня наследует их славу.

А у нашей редакции тоже небольшой праздник. Мы подготовили очередной, сентябрьский выпуск журнала. Основная тема номера – современные технологии возбуждения геофизических полей.

Данной теме посвящена статья «Современные технологии возбуждения сейсмических волн» (М.Б.Шнеерсон и А.П.Жуков).

Журнал продолжает публикацию статей И.С.Чичинина и О.М.Сагайдачной, в которых рассматриваются возможные пути решения задачи создания источников сигналов с широкополосными спектрами (7 – 120 Гц). В данном номере помещена статья «Дебалансные вибраторы». Достижения компании «Sercel» в области расширения вибромсейсмических сигналов в диапазон низких частот представлены в статье Даниэля Букара, Жиля Оливрэна и Дени Мужно.

Большая подборка статей посвящена различным вопросам, связанным с созданием и использованием импульсных невзрывных источников сейсмических колебаний с излучателями различного типа: газодинамическими, электромагнитными, пневматическими. Рассмотрены также вопросы возможности и целесообразности применения кодоимпульсного источников для инженерной сейсморазведки, а также один из вариантов создания такого типа источника.

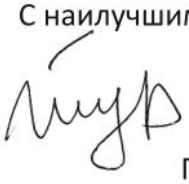
Интересный материал читатель найдет в разделах: Геофизические технологии; Заметки супервайзера; Геофизическое исследование скважин; Книжная полка; Хроника.

Читатель, интересующийся лексикографией (наукой о словарях), найдет много интересного в замечательной статье А.В.Череповского о сравнительных достоинствах и недостатках электронных и бумажных словарей и проблемах, связанных со стремительным внедрением компьютерной лексикографии в когда-то такой спокойный и размеренный уклад жизни составителей словарей.

В заключение обращаю внимание читателей на рекламу, помещенную в данном номере журнала. Существуют три группы задач, которые решает реклама: информирование, убеждение и напоминание. Эти задачи могут быть решены лишь при условии, если читатель доверяет рекламе. Мы с уверенностью можем сказать, что рекламе, представленной на страницах нашего журнала, доверять можно!

Подытоживая все выше сказанное, мы надеемся, что каждый читатель данного номера журнала найдет тему, новость или идею, которая будет ему интересна и актуальна. Ведь в этом и заключалась цель всей нашей работы над этим номером журнала.

С наилучшими пожеланиями,



П.А.Турлов

Главный редактор

# Современные технологии возбуждения сейсмических волн

Шнеерсон М.Б., Жуков А.П., ООО "ГСД", г. Москва

*«Грохочет взрыв и силою упругой*
*волна охватывает сонные слои,*
*а встретившись с границей мощным цугом*
*стремится вспять, к поверхности земли»*
*И. Мушин*

Сейсморазведка начинается с возбуждения колебаний, реализуемого путем приложения внешних, переменных во времени динамических нагрузок к точкам среды, под действием которых они выходят из положения равновесия и начинают совершать собственные или вынужденные колебания. В результате в земле возникает волновой процесс, и образуются отраженные, преломленные и другие волны, прием и регистрация которых позволяет решать задачи по изучению строения и состава земных недр и поиска полезнх ископаемых. Постоянные нагрузки не приводят к образованию переменных во времени волновых полей. Наряду с активными, существуют и пассивные методы сейсморазведки, основыванные на использовании шумовых воловых полей разной природы, но они далее не рассматриваются.

По времени действия внешние нагрузки подразделяются на импульсные, вибрационные и вибро-импульсные или кодо-импульсные. Первые – носят кратковременный, импульсный характер и время их действия существенно меньше периода возбуждаемых колебаний. Вторые – квазисинусоидальные по форме и продолжительные во времени нагрузки, время действия которых может достигать нескольких десятков и более секунд. Третьи - длительные во времени последовательности однополярных или разнополярных коротких импульсов, следующих друг за другом с переменными или постоянными временными интервалами, длительность которых меньше периода генерируемых волн.

По способу создания избыточных давлений и возбуждения волн в среде нагрузки подразделяются на взрывные и невзрывны. Взрывные (ВН), - используют энергию различных по массе и размеру взрывчатых веществ помещенных в скважины, шурфы или в специально созданные полости в земле. Невзрывные (НН) - создаются специальными устройствами и установками и в них не применяются взрывчатые вещества в их обычном понимании.

В настоящее время при работах на суше наиболее широкое применение получили взрывные и невзрывные вибрационные источники колебаний (вибраторы). Наряду с ними, используются импульсные невзрывные электромагнитные источники сейсмических волн («Енисей» и «Геотон»). Ведутся также работы по пневматическим и гидропневматическим импульсным источникам колебаний.

На море исключительное применение получили импульсные невзрывные пневматические источники колебаний.

Исторически сложилось представление о том, что взрыв заряда ВВ на оптимальной глубине является наилучшим со всех точек зрения источником колебаний в сейсморазведке. И это мнение в течении ряда лет не подвергалось сомнению в связи с тем, что отсутствовали адекватные, сопоставимые по эффективности промышленные, невзрывные способы

генерирования волн. С развитием технических и методических средств сейсморазведки (создание невзрывных источников колебаний, сейсмостанций с воспроизводимой записью, систем накапливания сигналов и др.) положение существенно изменилось. Создались объективные условия для появления более прогрессивных и безопасных во всех отношениях невзрывных способов генерирования волн в сейсморазведке. К настоящему времени невзрывное возбуждение колебаний на суше заняло прочное место в общем комплексе работ на нефть и газ, а в морской сейсмике – является практически единственным способом генерирования волн.

Выбор того или иного способа возбуждения колебаний на суше, в конечном счете, определяется заказчиком работ. Можно лишь говорить о том, что по мере урбанизации наших территорий и повышения требований к безопасности работ и сохранению окружающей среды приоритет будет получать невзрывная сейсморазведка.

Для начала волнового процесса в среде необходимо в некоторой ее точке приложить внешнюю нагрузку, которая, как указывлось ранее, может носить импульсный (кратковременный), вибрационный (продолжительный во времени) или вибро-импульсный характер.

При импульсном и кодо-импульсном возбуждении точки среды совершают собственные колебания, частота которых определяется массой (М) и упругостью (С) выведенного из равновесия, «присоединенного» объема грунта, а также затуханием волн. На этой частоте смещения частиц пород будут наибольшими и максимумы амплитудно-частотных характеристики возбуждаемых волн будут тяготеть к частотам собственных колебаний.

Применительно к сейсморазведке этот результат важен тем, что он объясняет наблюдаемую качественную зависимость между уровнем возбуждаемых колебаний и частотами регистрируемых волн. Действительно, чем мощнее источник, тем больший объем пород выводится из положения равновесия и тем ниже частоты собственных колебаний и регистрируемых волн. Отметим, что при кодоимпульсном возбуждении функция кода – интервалы между импульсами не оказывает влияния на частоту возбуждаемых и регистрируемых волн.

При вибрационном возбуждении колебаний точки совершают вынужденные колебания в соответствии с поведением внешней нагрузки. На частоте собственных колебаний будет наблюдаться резонанс - максимум амплитуд волн, величина которого определяется параметрами излучателя и среды. Из этого следует, что, как и при импульсном возбуждении, с увеличением силовых характеристик вибратора возрастает масса присоединенного объема грунта, что приводит к снижению частоты резонанса и возбуждению более низкочастотных колебаний, что находит качественное подтверждение на практике.

В настоящее время сложился определенный стандарт технических и методических средств возбуждения колебаний в сейсморазведке.

**Взрывное возбуждение**

Сейсморазведка с взрывными источниками колебаний используется при всех видах работ по изучению глубинного строения земли, поиску и разведки полезных ископаемых. Возбуждение упругих волн осуществляется взрывами зарядов бризантных взрывчатых веществ (ВВ) определенной массы, помещенных в специально пробуренные скважины или в неглубокие шурфы. Для инициро-

вания основного заряда используются электродетонаторы, которые срабатывают от электрического импульса, создаваемого специальной системой синхронизации. Момент подачи импульса передается для регистрации на сейсмостанцию, который используется для определения времен прихода волн к приемным устройствам. Бурение взрывных скважин производится специальными самоходными или переносными, малоглубинными вращательными установками. Оптимальные глубины погружения зарядов и их массы выбираются или по материалам предыдущих съемок, или определяются экспериментально по результатам опытных работ. Определению подлежат величины зарядов и глубины их погружения. Первые могут меняться от долей килограмма при разведке неглубоких границ раздела и обращенном каротаже взрывных скважин, до нескольких килограммов и десятков килограмм при картировании глубоких границ раздела. Глубины погружения зарядов зависят от вида исследований, строения верхней части разреза и мощности зоны малых скоростей, с которой связано образование волн – спутников. Группирование взрывов применяется при возбуждении колебаний в неглубоких скважинах (до 5 м) и шурфах для подавления поверхностных волн. Перспективы развития технологии взрывных работ связаны с созданием более эффективных взрывчатых веществ (ВВ), более экономичных и совершенных установок для бурения скважин, а также устройств для безопасного ведения взрывных работ, инициирования зарядов и связи сейсмостанции с взрывным пунктом.

**Наземное невзрывное возбуждение колебаний**

Наземная невзрывная сейсморазведка является эффективным геофизическим методом разведки, широко применяемая на всех стадиях геолого-разведочных работ. Она оснащена современным оборудованием и использует новейшие способы получения и обработки сейсмической информации. Области применения ее от глубинных и региональных работ до детальных и поисковых съемок 3D и 4D [4].

В практике наземного невзрывного возбуждения волн практическое применение получило два типа излучателей

Первый – источники активного действия, в которых потенциальная энергия поднятого над землей груза преобразуется в кинетическую при его взаимодействии с поверхностью земли, что и приводит к возбуждению волн в среде. На этом принципе были основаны первые невзрывные излучатели, установки «падающий груз», некоторые модификации которых получили промышленное применение. В настоящее время источники этого типа  применяются лишь в мало- глубинной сейсморазведке. Это - ручная «кувалда», удары которой производятся или непосредственно по поверхности земли, или по жесткой прокладке для обеспечения более стабильных условий возбуждения колебаний. В практике зарубежных работ определенное применение получили «стреляющие ружья - «Бетси» разного калибра, у которых боек под действием внешнего силового импульса разгоняется и бьет по металлической проставке, возбуждая волны в среде.

Второй тип – это источники реактивного действия, обобщенным излучающим элементом которого является цилиндр, с помещенным в нем поршнем. Под действием внутренних сил, приложенных к цилиндру и поршню, один из элементов излучателя движется вверх, а другой – вниз, воздействуя на среду и выводя ее точки из положения равновесия.

**Импульсные невзрывное возбуждение**

Импульсные невзрывные источники представлены легкими ударниками (кувалда), которые хорошо зарекомендовали себя при малоглубинных и инженерно-геологических изысканиях на продольных и поперечных волнах, а также электромагнитными излучателями «Енисей» и «Геотон», успешно применяемыми при съемках 2D и 3D в различных сейсмогеологических условиях. Установки «Енисей» и «Геотон» имеют единый принцип действия, основанный на взаимодействии электромагнитных полей. Излучающим элементом является жесткая устанавливая на поверхности земли плита, на внутренней поверхности которой размещен пригруз с индуктором электромагнита. Якорь электромагнита отделен от индуктора небольшим зазором и с помощью стоек соединен с плитой. При подаче импульса тока в катушки индуктора между ним и якорем электромагнита возникает сила взаимодействия, которая заставляет плиту двигаться вниз, создавая импульсное воздействие на среду, а пригруз - вверх. При этом зазор между якорем и индукторм выбирается и вся система отрывается от поверхности земли, а затем плавно опускается для исключения повторного удара. Электромагнитные источники достаточно просты по устройству и обслуживанию, обеспечивают получение приемлемых по качеству материалов и относительно недороги, что обосновывает целесообразность их применение при проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ и определяет перспективы их дальнейшего использования. Небольшие величины развиваемых нагрузок приводят к возбуждению повышенных по частоте колебаний, что выгодно отличает эти установки от мощных невзрывных источников колебаний. Уровень генерируемых волн относительно невелик, но в сочетании с группированием излучателей и синхронным накоплением сигналов появляется возможность в соответствующих сейсмогеологических условиях получать качественные относительно высокочастотные записи отраженных волн. Создано и практически применяется несколько модификаций этих источников с 1, 2 и 4 излучателями, которые могут размещаться на санях со специальными полозьями, которые одновременно являются излучателями колебаний, транспортных средствах повышенной и высокой проходимости, а также на перемкщаемы[ вручную тележках.

Перспективы развития импульсной невзрывной сейсморазведки связаны с повышением технических и эксплуатационных характеристик существующих источников и созданием новых установок, а также излучателей для возбуждения волн в скважинах и болотах с перспективой существенного сокращения объемов взрывной сейсморазведки.

**Вибрационное возбуждение**

Вибрационная сейсморазведка получила широкое применение в комплексе геолого-разведочных работ на нефть и газ. Она оказалась эффективной при глубинных и региональных исследованиях. ориентированных на возбуждение и регистрацию отраженных волн по методике многократных перекрытий МОВ-ОГТ. Относительно небольшие расстояния между пунктами возбуждения и приема колебаний в сочетании с использованием мощных вибрационных источников и методических средств по усилению полезных волн и подавлению помех сделали возможным уверенную регистрацию отраженных волн от поверхности фундамента и более глубоких границ раздела, включая поверхность Мохоро-

вичича. Примерами успешных региональных работ в нашей стране являются пересечения Южного Урала и прилегающих территорий востока Русской платформы, геотраверс от Магадана через Магаданскую область на северо-восток, к океану и др.

Основные объемы вибрационной сейсморазведки приходятся на поисково-разведочные работы, по прослеживанию границ раздела в осадочной толще, поиску и разведке месторождений углеводородов. По ориентировочным данным до 40-45% объемов работ на нефть и газ выполняются с применением вибрационных источников колебаний. Работы ведутся практически во всех регионах России, перспективных на нефть, газ и некоторые другие полезные ископаемые. Однако, есть районы и участки, на которых применение вибраторов оказывается пока еще неэффективным. Это - незамерзающие зимой болота и топи, а также крутые склоны рельефа. . Причины - отсутствие упора для рабочей плиты вибратора и сползание установок. Для проведения работ на таких участках необходимы погружные вибраторы и специальные установки, способные возбуждать колебания в таких условиях.

Высокое качество современных вибрационных источников обеспечивает устойчивую высокопроизводительную работу полевых отрядов. Ушли в прошлое проблемы, возникавшие из-за ненадежной работы установок, когда утром на профиль выезжало пять вибраторов, а через два-три часа работы оставались два, а в ряде случаев один «полуживой» излучатель. И так каждый день. Сегодня производительность до 500 и даже 1000 физ. точек за день при высоком качестве материалов считается нормой. Однако, повышение числа пунктов возбуждения, отрабатываемых за день работы, является актуальной задачей. Специфика вибрационной сейсморазведки, обусловленная использованием для возбуждения колебаний частотно-модулированных силовых нагрузок, открывает широкие возможности по повышению ее эффективности при проведении поисково-разведочных работ на нефть игаз. Некоторые из них будут рассмотрены далее.

В настоящее время сложился определенный стандарт, определяющий технические и методические средства вибрационной сейсморазведки [2,4].

Вибрационные источники – это установки отечественного, импортного или смешанного (вибратор импортный, транспортная база отечественная) производства с усилием от 0,5 тн при работах на небольшие глубины до 30 и даже 40 тн, смонтированные на соответствующих транспортных базах (автомобиль, багги, снегоболотоход), в количестве 4-5 штук на полевой отряд. Из них четыре, как правило, работают, а один – в резерве. Отмечается стремление к применению вибраторов со все возрастающими усилиями на грунт. Имеются вибраторы с усилиями 30 тн и даже 40 тн. Эти тенденции понятны, и они соответствуют поговорке «сила есть – ума не надо». С одной стороны, можно сэкономить на числе вибраторов и количестве накоплений, а с другой, ухудшаются условия проезда, повышаются требования к подготовке профиля и снижается резонансная частота возбуждаемых колебаний и уменьшается разрешенность записей, что многократно подтверждено на практик. Конструкции современных вибраторов позволяют изменять относительный уровень излучаемых сигналов от 40-50% до 100% от максимального. В результате меняется интенсивность возбуждаемых колебаний. Однако, зависимость между

силовыми параметрам вибраторов и амплитудами возбуждаемых волн носит нелинейный характер, что приводит к тому, что начиная с определенных величин усилий рост амплитуд волн или замедляется, или вообще прекращается. С этой позиции полезно работать при минимально возможных усилиях. Как правило, работы ведут при усилиях от 60 до 90 % от максимальных, в пределах которых вибраторы работают наиболее устойчиво.

Полевые работы повсеместно проводят с группированием вибраторов и с синхронным накоплением сигналов, что обеспечивает повышение отношения сигнал/помеха. При необходимости его повышения по регулярным помехам применяют неравномерные по чувствительности группы вибраторов, которые легко реализуются на практике. При съемках 2D группы вибраторы размещают по профилю, а при - 3D и 4D, как правило, вдоль линий возбуждения. Синхронное накопление приводит к повышению отношения синал/нерегулярная помеха, которое при абсолютно нерегулярных помехах пропорционально корню квадратному из числа накоплений. Характер этой зависимости таков, что он делает нецелесообразным накопление большого числа сигналов из-за снижения его эффективности и производительности работ (увеличение времени на отработку каждой физической точки). Как правило, число накоплений выбирают не большим 10 – 12.

Практика работ с вибрационными источниками сейсмических колебаний показывает, что качество полевых материалов во многом определяется обоснованным выбором управляющих сигналов и их параметров. В вибрационной сейсморазведке они представлены двумя модификациями: линейные сигналы, у которых частота в процессе излучения колебаний изменяется по линейному закону, и нелинейные, характеризующиеся переменной скоростью изменения частоты в процессе излучения колебаний, позволяющей повышать уровень возбуждаемых колебаний в желаемой полосе частот. Ранее проводились работы по опробованию других видов управляющих сигналов. Это были однополярные и двухполярные кодовые последовательности импульсов. Перспективы последних были связаны с принципиальной возможностью существенного уменьшения уровня корреляционных шумов и расширению динамического диапазона результирующих записей. Рассматривались также гармонические посылки постоянной частоты, применение которых позволяет повысить уровень подавления помех и реализовать новые способы вибрационной сейсморазведки. Но эти направления пока практического применения не получили.

Рабочие параметры управляющих сигналов (начальная и конечная частоты, длительность излучения и характер изменения частоты) определяются исходя из качества предшествующих съемок и результатов опытных работ, выполняемых с целью их уточнения с учетом конкретных сейсмо-геологических условий в районе проведения работ.

Практика применения вибрационной сейсморазведки показывает, что она достаточно эффективна, обоснована теоретически и экспериментально и оснащена соответствующей аппаратурой и оборудованием. Тем не менее, необходимость решения все более сложных задач и высокие требования к качеству получаемых полевых записей и снижению стоимости работ обосновывают

необходимость развития и совершенствования этого метода геофизики. В последние годы наметились определенные направления развития вибрационной сейсморазведки. Основные из них следующие [1,2,3,5]: адаптивная вибрационная сейсморазведка (АВИСейс); - расширение полосы частот возбуждаемых колебаний; - повышение производительности работ; - совмещенные, смешанные системы наблюдения; - нелинейные волновые поля; - одноточечное профилирование и технология работ, основанная на применение сверхмногоканальных приемных систем и большого числа одновременно работающих источников – «тотальная сейсморазведка.

**1. Адаптивная вибрационная сейсморазведка (АВИСейс)**

Возможности вибрационной сейсморазведки по оптимизации параметров управляющих сигналов реализованы в методико-аппаратурном комплексе «Адаптивная вибрационная сейсморазведка, АВИСейс». Его методической основой является наличие прямой зависимости уровня излучаемых колебаний от скорости изменения частоты управляющего сигнала. Поэтому увеличение или уменьшение скорости развертки приводят к соответствующему уменьшению или увеличению амплитуд генерируемых волн. Наличие частотно-зависимого поглощения волн определило основное направление работ по АВИСейс, ориентированных на повышение уровня высоких частот в спектре возбуждаемых колебаний. Аппаратурной основой комплекса является система управления работой вибрационных источников колебаний с комплексом программ, позволяющие на основании спектрального анализа зарегистрированных волн, рассчитать параметры управляющих сигналов, компенсирующих дефект амплитуд волн в заданной полосе частот. Комплекс может работать практически со всеми современными вибрационными источниками и приемо-регистрирующими системами. Технология проведения работ предусматривает посылку вначале «калибровачного» воздействия одиночным или группой вибраторов. Параметры калибровочного сигнала выбирают, исходя из имеющихся по району данных. Как правило, это широкополосный сигнал достаточной длительности. Зарегистрированные колебания анализируются и определяются спектральные характеристики волн, по которым производится уточнение параметров управляющих сигналов, которые передаются на вибраторы для проведения работ. Коррекция сигналов может проводиться последовательно на каждом пункте возбуждения или выборочно в завитсимости от качества получаемых материалов. К настоящему времени комплекс опробован и успешно применяется при проведении поисковых и детальных работ 2D и 3D. На рис. 1, 2 и 3 приведены некоторые типичные материалы, иллюстрирующие эффективность комплекса АВИСейс.

**2.Расширение полосы частот возбуждаемых колебаний.**

Общепринятая технология работ предусматривает возбуждение колебаний в полосе частот от 8 – 10 Гц до 80 – 100 Гц, т.е в пределах 3,0 – 3,5 октав. Современные подходы к качеству материалов и результатам их обработки и интерпретации требуют расширения полосы частот регистрируемых колебаний до 5 – 6 октав. Практика показывает, что это позволяет увеличить глубинность разведки и разрешенность получаемых записей, снизить уровень корреляционных шумов и повысить отношение сигнал/помеха, а в итоге получить более

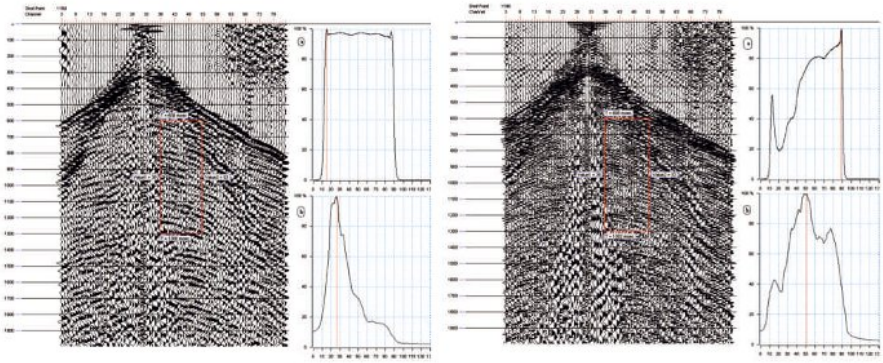
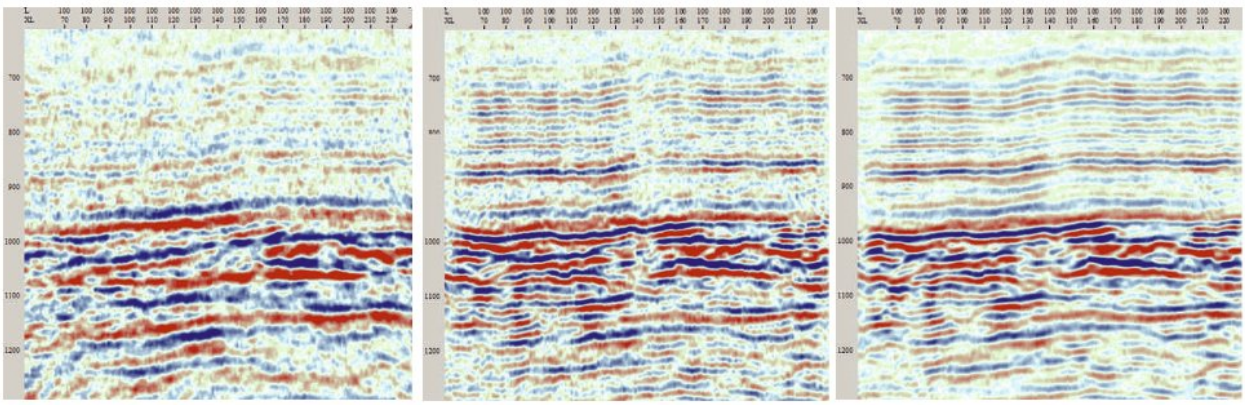


*Рис.1. Сравнение коррелограмм и спектров, полученных с линейным (а) и адаптированным (б) управляющими сигналами*



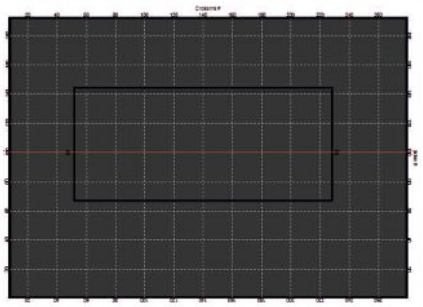


*Рис.2. Рис. 2 Временные разрезы по линии 100 после деконволюции. Повышение разрешенности и выразительности волнового поля туроно--сеноманских отложений при применении АВИСейс и высокоплотной съемки*

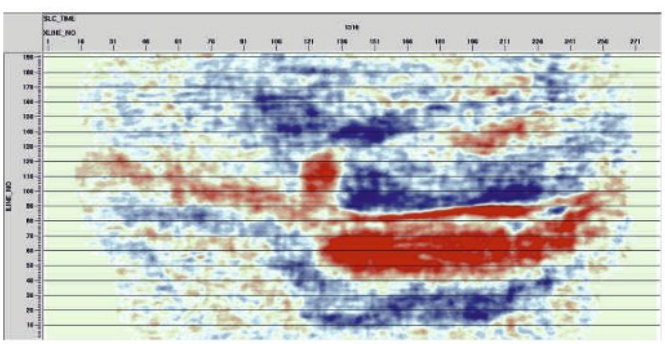


*Рис.3а. Временной срез на времени 1516 мс, стандартная съемка*

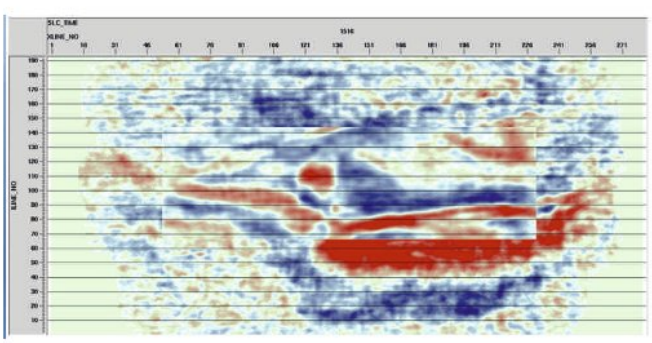


*Рис.3б. Временной разрез на времени 1516 мс, АВИСейс*

качественные и достоверные конечные результаты. Анализ возможности расширения октавности вибрационных записей показал на перспективность смещения частоты возбуждаемых колебаний в сторону низких (до 1 – 4 Гц), а не высоких частот. Обусловлено это частотно – зависимым затуханием волн, что делает практически нереальным удвоение верхнего диапазона частот до 250 – 300 Гц при поисково-разведочных работах на нефть и газ. При уходе в сторону низких

частот имеется практическая возможность достижения желаемой октавности записей, что показано экспериментально [3]. Так, например, при начальной частоте 4 Гц для получения шести октавного управляющего сигнала конечная частота должна быть равной 130 Гц, что вполне приемлемо. Однако, переход на низкие частот также сопряжен с необходимостью преодоления определенных технических и методических трудностей, связанных с особенностями работы применяемых вибраторов.

Эффективная работа вибратора на низких частотах (1 – 4 Гц) ограничена взаимным перемещением поршня относительно цилиндра «ходом поршня», который обратно пропорционален частоте возбуждаемых колебаний, величиной гидравлического потока жидкости, развиваемого насосом, работой серво-клапана, управляющего потоками жидкости, весом инерционной массы, емкостью гидро-аккуму-ляторов и др. Модельные исследования [3] показали, что ключевыми среди них являются «ход поршня» и предельная величина усилия, при котором отсутствует отрыв плиты от поверхности грунта. Они и ограничивают возможность излучения низкочастотных колебаний. Значимость этих параметров основывается на следующих соображениях.

При квазигармоническом излучении колебаний справедливо следующее соотношение, которое вытекает из второго закона Ньютона:

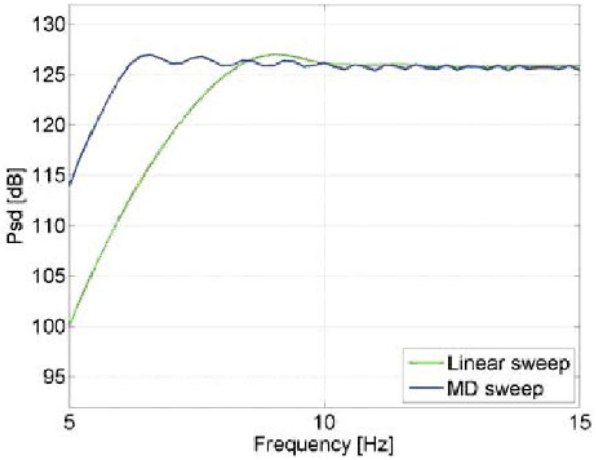
$$f = ( F / 4\pi^2 \; S \; Mr )^{1/2},$$

где f – частота возбуждаемых волн, F – сила, развиваемая вибратором, S - ход поршня и Mr – реактивная масса вибровозбудителя (масса гидравлического цилиндра).

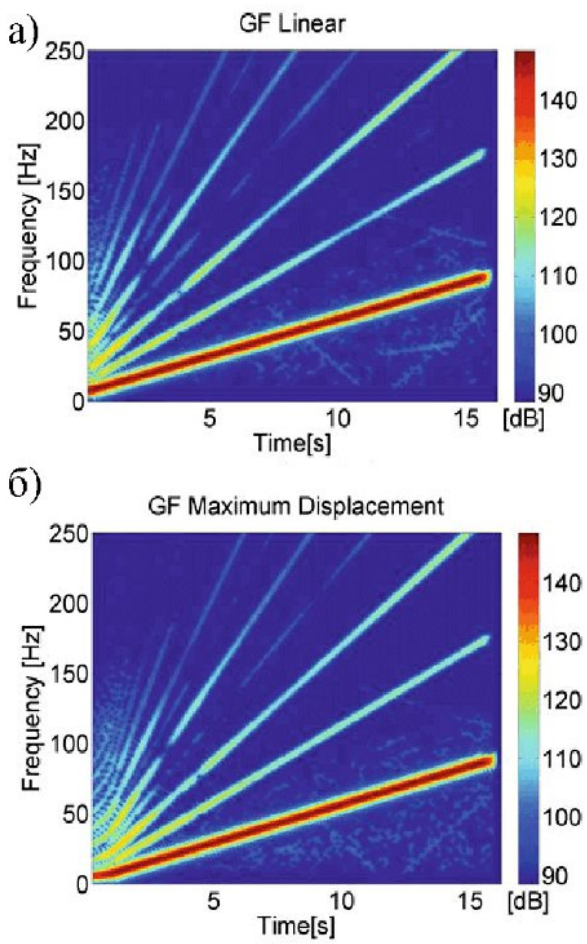
Приведенное соотношение определяет зависимость частоты излучаемых колебаний от развиваемого вибратором усилия, хода поршня и массы цилиндра вибровозбудителя. Из него следует, что при заданной величине силы для смещения в сторону низких частот необходимо увеличивать «ход поршня» и инерционную массу. В этом направлении ведутся работы по созданию широкополосного вибратора с рабочей полосой частот, равной 6,6 октавы.

Низкочастотное возбуждение на основе существующих вибрационных источников со стандартными параметрами реализовано путем применения нелинейных или комбинированных управляющих сигналов с повышением уровня низких частот в спектре излучаемых колебаний, уменьшением скорости развертки управляющего сигнала в его начальной (низкочастотной) части, в области скоса, начиная с 4 – 5 Гц, и снижением уровня силового воздействия на среду [3]. Этому способу было дано название «свип максимального смещения» (maximum displacement sweep). Модельные и экспериментальные исследования показали, что использование управляющих сигналов максимального смещения повышает уровень низкочастотных колебаний и улучшает прослеживание глубоких и мелких горизонтов на временных разрезах [3].

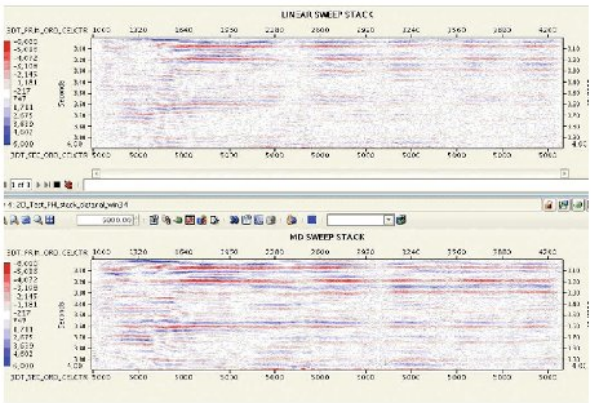
На рис. 4-6 приведены выборочные материалы, полученные с 32 тн вибратором на профиле протяженностью 5 км на среднем Востоке при использовании линейного управляющего сигнала частотой 6 - 80 Гц, длительностью 16 с со скосами 500 мс и свипа максимального смещения с теми ж параметрами, иллюстрирующие эффективность применения нового управляющего сигнала. Это направление получило определенное практическое применение . В докладах на конференциях EAGE в Копенгаге-




▲ *Рис. 4. Кривые изменения основной компоненты «силы земли» (ground force) от частоты для линейного управляющего сигнала (зеленая кривая) и сигнала максимального смещения (фиолетовая кривая)*




▲ *Рис. 5. Частотно-временные представления сигналов силы земли для линейного свипа (а) и свипа максимальной длительности (б)*




▲ *Рис. 6. Временные разрезы, полученные с линейным сигналом (а) и сигналом максимальной длительности (б)*

не (2012 г) и в Лондоне (2013) приведены сейсмические материалы, полученные с применением расширенных в сторону низких частот (до 1,5 – 3,0 Гц) управляющих сигналов и стандартным оборудованием, в том числе с сейсмоприемниками с собственной частотой 10 Гц. Тем не менее, в сообщениях отмечается перспективность и необходимость применения сейсмоприемников с резонансной частотой 4,0 – 4,5 Гц и акселерометров MEMS.

В пределах России также проводятся работы с низкочастотными управляющими сигналами повышенной длительностью скоса и пониженным уровнем воздействия на среду для уменьшения уровня нелинейных искажений возбуждаемых колебаний [2].

### 3. Повышение производительности работ

Повышение производительности полевых работ было и остается одной из актуальных задач сейсморазведки. В вибрационной сейсморазведке производительность работ Q (количество наблюдений в час или в день) определяется числом одновременно отрабатываемых пунктов возбуждения (физических точек) (N), затратами времени на возбуждение и прием колебаний (Тв + Тп), а также на

переезд вибраторов с одной точки на другую (t).

$$Q = 3600 \cdot N/( Тв + Тп + t)$$

Общепринятая технология работ предусматривает последовательную отработку каждого пункта наблюдений с затратами времени на возбуждение колебаний, их прием и переезд вибраторов на следующую точку, что и определяет производительность работ.

Ее повышение может быть достигнуто путем одновременной отработки нескольких физических точек (N > 1), сокращения и исключения затрат времени на прием колебаний (Тп) и переезд вибраторов (t) при соответствующих изменениях аппаратуры, технологии и организации работ. Особенности вибрационной сейсморазведки, обусловленные частотно-модулированным характером возбуждаемых колебаний и корреляционной обработкой получаемых первичных записей, а также ее современным техническим уровнем, позволяют увеличить число одновременно отрабатываемых пунктов возбуждения с одной расстановкой сейсмоприемников, сократить затраты времени на прием колебаний и переезд вибраторов с точки на точку и тем самым повысить производительность полевых работ. Практическое применение получили следующие способы повышения производительности работ при съемках 3D и 4 D, ВСП в пустынных и полупустынных районах юго-восточной Азии [3].

### 3.1 Разновременное возбуждение колебаний

Этот способ повышения производительности работ, получивший название «скользящий свип или slip-sweep», предусматривает работу на одну приемную расстановку приборов двух и более групп источников, расположенных на одном или разных пунктах возбуждения, с определенными, заданными задержками времени.

Наблюдения ведутся по следующей схеме. В то время, когда одна группа возбуждает колебания, другая группа перемещается на следующий пункт возбуждения и готовится к работе. Затем начинает работать вторая группа, а первая перемещается и так далее. При этом интервалы времени между последующими воздействиями разных групп вибраторов выбираются не меньшими временной глубины разведки для возможности полного освещения разреза. Времена начала вибрирования каждой группы излучателей фиксируются и заносятся в память для последующей обработки записей. Колебания с разных пунктов возбуждения принимаются, регистрируются в памяти большого объема.

При обработке суммарная виброграмма последовательно коррелируется с использованным управляющим сигналом, но каждый раз с известными временными сдвигами, соответствующими временам излучения данного управляющего сигнала, что и позволяет разделить записи и получить коррелограммы с каждого пункта возбуждения. Технология «скользящего свипа» получила применение при съемках 3D в пустынных районах ближнего Востока и в некоторых районах России. Однако, первые же работы показали, что возникающие нелинейные компоненты волновых полей (гармоники) накладываются на полезные записи, снижая их качество. Для ослабления их влияния было предложено несколько способов, основанных на использовании фазо-кодированных управляющих сигналов, на выделении помех-гармоник и их последующим вычитанием из результирующих записей волу с каждого пункту возбуждения колебаний.

**3.2 Исключение времени слушания между посылками излучаемых колебаний.**

Рассматриваемая технология предусматривает излучение заданной последовательности идентичных по частоте и длительности управляющих сигналов, следующих непрерывно друг за другом и регистрацию поступающих колебаний без затра времени на прием и регистрацию волн, кроме последнего. Эта методика получила название «каскадный свип», и она позволяет уменьшить время на производство полевых работ и повысить их производительность. Для разделения сигналов каждый из серии управляющих сигналов должен иметь начальный сдвиг по фазе, равный $2\pi/n$, где n, число сигналов в серии. Опробование и применение каскадных свипов оказалось достаточно успешным, и было показано, что их применение позволяет повысить производительность работ на 20 – 40 % при допустимом уровне помех от предыдущих воздействий. Тем не менее в последнее время наблюдается уменьшение объемов работ по этой технологии.

**3.3 Навигационные системы и беспроводная система передачи сигналов от сейсмоприемников**

При проведении работ в промышленных районах, городах и населенных пунктах возникают определенные затруднения с размещением на местности пунктов возбуждения и приема колебаний, которые, в конечном счете, приводят к снижению производительности работ. Современные технические средства позволяют минимизировать эти непроизводительные затраты времени. Это – интегрированные навигационные системы и радио-канал для передачи сигналов от сейсмоприемников на сейсмостанцию.

Интегрированные системы позволяют выбирать пункты возбуждения и распределять их на местности в оптимальных для проведения работ условиях. Навигаторы устанавливают на каждом вибраторе, что делает возможным оптимизировать пути подъезда к пунктам возбуждения и определить их точные координаты. Отказ от применения соединительных проводов и переход на передачу сигналов от сейсмоприемников на станцию по радио-каналу позволяет существенно упростить проведение работ при сложностях с расположением пунктов приема колебаний. Проведение работ без использования соединительных проводов делают приемные системы более динамичными с возможностями их быстрого модифицирования при необходимости сохранения кратности наблюдений, что, в результате, приводит к повышению производительности работ.

**3.4 Применение длительных управляющих сигналов (40 и более с.)**

Практика работ показывала, что посылки длительностью 6 – 10 с. являются оптимальными. В последнее время, в свете повышения производительности работ повысился интерес к применению протяженных управляющих сигналов [3]. Он основан на том, что синхронное накопление сигналов и длительность управляющих сигналов в одинаковой степени влияют на отношение сигнал/помеха. Поэтому синхронное накопление может быть заменено соответствующим увеличением длительности управляющего сигнала. При этом отпадает необходимость в приеме и регистрации колебаний после каждого воздействия, что ведет к повышению производительности работ. Кроме того, при протяженных управляющих сигналах меньше сказываются их «скосы» на уровень регистрируемых волн.

### 3.5 Одновременная работа нескольких разнесенных по площади групп вибраторов

Компания British Petroleum (BP) разработала оригинальную технологию одновременной работы нескольких разнесенных в пространстве групп вибраторов на одну расстановку сейсмоприемников [3]. Предложенная методика основывается на том, что если расстояние между группами источников равно или больше, чем вынос, необходимый для прослеживания самого глубокого целевого горизонта, то это позволяет получить независимые, неискаженные записи отраженных волн в пределах необходимого временного интервала. Эта технология была успешно применена при широковыносных и широко-азимутальных съемках 3D большой плотности в Омане. Исходя из условий проведения работ (области прослеживания целевых горизонтов и величина максимального выноса), расстояние между групп вибраторов было выбрано равным 12 км. На площади было задействовано 15 вибраторов, которые были разделены на три группы по пять установок в каждой, которые находились на расстоянии 12 км друг от друга. При этом производительность работ повышалась в два или три раза в зависимости от числа одновременно работающих групп вибраторов. Полученные сейсмограммы в области целевых волн были свободны от перекрестных помех, подобны одинарным и не требовали применения для обработки каких-либо специальных программ.

### 3.6. Независимое одновременное вибрирование

Независимое одновременное вибрирование – это технология работ, разработанная фирмой WesternGeco для BP, в основе которой лежит предположение о том, что при одновременной работе нескольких разнесенных по площади вибрационных источников с произвольными, но известными параметрам управляющих сигналов, суммарное регистрируемое волновое поле будет носить нерегулярный характер. При этом, если известно время начала работы данного вибратора и параметры управляющего сигнала, то корреляционная обработка сигналов позволяет из суммарного, общего волнового поля выделить колебания, соответствующие этому вибратору. И так для каждого пункта возбуждения. Эта технология сначала была опробована при съемках 3D в Алжире, а затем успешно применена при широкомасштабных работах в сопредельных районах. Для сравнения определенный участок площади был отработан по стандартной и новой методикам. На площади было задействовано восемь вибраторов, каждому из которых была выдана схема расположения тех пунктов возбуждения, которые ему необходимо было отработать. Последовательность их отработки не оговаривалась, что обеспечило эффективную, производительную работу каждого вибраторов, т.к. отпадала необходимость ожидания готовности других установок и приемной аппаратуры. Частотный диапазон управляющих сигналов, равный 6 – 80 Гц, был выбран одинаковым для всех вибраторов, а длительность их - разная 6 и 12 с. В процессе работ фиксировались координаты расположения вибратора (x, y, z) и время начала возбуждения колебаний. Это позволило получить коррелограммы для каждого пункта возбуждения, провести их обработку и построить куб размером 4,5 х 6,5 км с квадратным бином 15 х 15 м. Также было выполнено сравнение материалов, полученных по новой и стандартной технологиям, которое показало их практическую идентичность. Одновре-

менное вибрирование позволило существенно сократить время на производство работ, в среднем, каждый вибратор отрабатывал 500 пунктов возбуждения в день.

**4. Отказ от группирования источников колебаний. (Одноточечное возбуждение колебаний)**

В последнее время в вибрационной сейсморазведке наметилась тенденция отказа от группирования источников и приемников колебаний. Обусловлено это рядом факторов: затруднениями с размещением групп вибраторов на местности из-за значительных размеров излучателей, ухудшением условий суммирования колебаний при работах на участках с пересеченным рельефом и сложным строением зоны малых скоростей, а также возможными сбоями в синхронизации источников колебаний. Эти причины, а также новые технические и методические возможности, решения и разработки привели к тому, что некоторые организации отказываются от применения интерференционных систем и переходят на работы с одиночными вибраторами и сейсмоприемниками, так называемое «одноточечная» технология, при которой возбуждение и прием колебаний производится одиночными источниками и приемниками. Для достижения приемлемых соотношений сигнал/помеха работы проводятся по системам наблюдений повышенной плотности, с управляющими сигналами большой длительности (до 40 с), увеличенным числом работающих на площади вибраторов и технологиям с сокращенным временем приема колебаний после каждого возбуждения для повышения производительности работ (скользящий и каскадный управляющие сигналы и др.). Одна из таких систем предусматривала работу 12 вибраторов с управляющим сигналом длительностью 40 с и временным сдвигом 5 с. Согласно принятой технологии, в каждый момент времени вибрировало восемь вибраторов, а четыре перемещались на следующие пункты возбуждения. Вибраторы действовали самостоятельно и независимо по своим схемам, что не замедляло их работу. Выполненные по такой схеме три проекта в Египте и Саудовской Аравии показали ее эффективность и возможность получения качественных материалов, не уступающих по качеству стандартным, но с большей производительностью и за меньшее время.

Одноточечные наблюдения (без группирования источников и приемников колебаний) привлекают все большее внимание производителей работ. В [6] подведены итоги девятилетнего применения одноточечной технологии в Кувейте и показано, что она экономически эффективна и позволяет успешно решать структурные и интерпретационные задачи в различных сейсмо-геологических условиях региона.

**5. Смешанная, совмещенная технология полевых сейсморазведочных работ**

Стремление существенного повышения качества и производительности полевых сейсморазведочных работ, а также степени их автоматизации привели к созданию смешанной, совмещенной технологии сейсморазведочных работ (Blended acquisition), теоретические и методические основы которой освещены в работах [5,7]. Она предусматривает одновременную работу на площади съемки большого числа источников с овыми или разными параметрами излучаемых колебаний. Применительно к вибрационной сейсморазведке - это работы с узкополосными различающимися по центральным частотам управляющими сигналами, перекрывающими

желаемый диапазон частот, а к морской – это использование пневмопушек разного объема и давления, а также глубин погружения. Т.е. источники не должны быть одинаковыми, а при вибрационном возбуждении широкополосными. Наоборот, предпочтение отдается узкополосным вибраторам, но с оптимизированными параметрами. Отмечается, что такой подход позволяет упростить конструкцию вибраторов, ориентированных на возбуждение узкополосных колебаний с различными средними частотами. Необходимым условием смешанной технологии является то, что суммарное волновое поле от когерентных источников должно обладать требуемыми временными и спектральными характеристиками в каждой точке подземного пространства. Отмечается, что чем больше действующих на площади источников, тем выше уровень излучаемых колебаний и больше отношение сигнал/нерегулярная помеха. В экстремальных случаях съемки по этой технологии будут представлять собой смешанные излучающе-приемные системы произвольного размера, у которых время между первым и последним излучениями может быть большими. В соответствии с критерием Найквиста расстояния между источниками должны быть меньше половины длины волны излучаемых колебаний. Поэтому в случае разночастотных излучателей ( например, низко, средне и высокочастотных) расстояния между ними должны быть различными, большими для низкочастотных и меньшими для высокочастотных. Следовательно и число излучателей должно быть различным. Такое размещение излучателей было названо рассеянным или дисперсионным (dispersed source array, DSA) [5]. Оно обладает следующими потенциальными преимуществами: - простота конструкции узкополосных источников; - оптимизация параметров излучаемых колебаний в соответствии с центральной частотой; - возможность эффективного перекрытия желаемого диапазона частот и возможностью существенного повышения отношения сигнал/помеха. В качестве критерия в [7] предложен «индикатор смешанности» BPI (blending performance indicator), определяемый соотношением:

$$BPI = (N_s'/N_s)\ x(T/T'),$$

где $N_s$ и $N_s'$ – количество работающих источников при несмешанной и смешанной съемках, а T и T' – времена, определяющие эффективное время работ при несмешанной и смешанной съемках, соответственно. Рассматривая перспективы смешанной технологии работ, авторы прогнозируют ее широкое применение и «конец» несмешанным технологиям ведения сейсмических работ [5,7].

**6. Нелинейные волновые поля в вибрационной сейсморазведке**

Возбуждение колебаний вибрационными источниками всегда сопровождается возникновением нелинейных компонент, частоты которых кратны основным [1, 2]. Интерес к изучению нелинейных волн или гармоник появлением новых технологий (slip- cweep и др.), условием успешного применения которых является существенное подавление нелинейных составляющих регистрируемых волновых полей; а также изучением нелинейных явлений, происходящих при распространении волн в нефтегазонасыщенных, многокомпонентных средах. Перспективы и возможности использования гармоник и нелинейных волн для получения дополнительной информации о разрезе и выделении углеводородосодержащих слоев рассмотрены в

работах [1,9]. Возможность использования волн-гармоник для расширения полосы частот регистрируемых колебаний рассмотрена в докладе, представленным на конференции EAGE в Копенгагене [8], что позволяет говорить об определенном интересе к этому направлению.

**7. Новая парадигма наземных сейсморазведочных работ [10]**

За последние годы произошли значимые изменения в технологии наземных сейсморазведочных работ. В 80- х начале 90-х годов прошлого столетия методика наземных сейсмических съемок строилась на следующих основных положениях: высокая кратность наблюдений; хорошее отношение сигнал /помеха на полевых записях; группирование источников и приемников колебаний и регистрация волн при минимальном уровне помех. Предпочтение отдавалось узко-азимутальным системам наблюдений с регулярными и однообразными распределениями по выносам и азимутам. Возросшая техническая оснащенность сейсморазведки (сверхмногоканальные приемо-регистрирующие системы, спутниковая навигация, вибрационные источники и др.) и необходимость существенного повышения производительности полевых работ для обеспечения их рентабельности привели к существенным изменениям технологии работ и требованиям к качеству полевых записей, которые определяются следующими положениями: - переход от узко-азимутальных к широко-азимутальным съемкам; -понимание того, что важна не кратность наблюдений, а качественная дискретизация записей по выносам и азимутам; - отказ от группирования и переход на «одноточечные» системы с небольшими расстояниями и интервалами между линиями и пунктами возбуждения и приема колебаний.

В обосновании этих положений приведены материалы, показывающие, что переход на новую технологию полевых работ позволяет значительно повысить детальность и достоверность получаемых результатов. Особенно эффективной оказалась эта технология при работах в пустынных районах Арабских Эмиратов с вибрационными источниками колебаний. обеспечивая получение качественных конечных материалов и решение широкого круга разведочных задач.

На основе полученных материалов в [10] обосновывается новая парадигма наземных полевых работ, суть которой состоит в отказе от группирования при возбуждении и приеме колебаний, в существенном повышении плотности наблюдений и в переходе от исходных индивидуальных записей большой кратности с высоким качеством материала к записям с несколько худшим отношением сигнал/помеха, но полученным при уменьшенных до нескольких метров интервалах дискретизации по азимутам и выносам.

В статье рассмотрены современные методы возбуждения волновых полей в сейсморазведке, которые определяются характером и параметрами внешних силовых нагрузок. Вибрационная сейсморазведка представлены несколькими модификациями, вытекающими из возможности адаптивного и направленного выбора частотных и фазовых характеристик возбуждаемых колебаний. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки и будущее покажет, какие из них получат дальнейшее развитие и войдут в повседневную практику проведения полевых работ. Способы возбуждения волн в сейсморазведке будут развиваться и совершенствоваться. Это

веление времени, обусловленное необходимостью решения все более сложных задач в условиях урбанизации страны, заботе о сохранении экологии среды и повышении уровня безопасности работ.

Вопрос в том, как будет происходить этот процесс. Возможно два сценария. Первый – спокойный, который будет основываться на восприятии зарубежных технологий и использования их по мере поступления в наши геофизические организации. Сейчас мы, в основном, идем по этому пути, поскольку геофизические организации имеют средства практически только на проведение производственных работ.

Второй – интенсивный, предусматривающий проведение теоретических, экспериментальных и опытно-методических работ, направленных на развитие и совершенствование отечественной сейсморазведки, создание и опробование новых технологий и методов работ. Это направление позволит повысить эффективность метода и приведет к новым решениям и открытиям.

Будем рассчитывать на этот путь развития полевых методов сейсморазведки.

**Литература**

1. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки (2000), Шнеерсон М.Б., Жуков А.П./ М.: ООО «Недра – Бизнесцентр»

2. Сейсморазведка с вибрационными источниками (2011), Жуков А.П., Колесов С.В., Шехтман Г.А., Шнеерсон М.Б./ « Изд. ГЕРС», г. Тверь

3. Современные тенденции вибрационной сейсморазведки (2010), Шнеерсон М. Б., Жуков А.П. / Сб. Приборы и системы разведочной геофизики №3, г. Саратов

4. Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки (1998), Под редакцией Шнеерсона М.Б., - М. «Издательство Недра» A.J

5. Berkhout A.J. (2012), Blended acqyisition with dispersed source arrays, Geophysics, Vol.77, № 4

6. Single-sensor technology – a story of success from Kuwait, (2012), A.H. El-Emam, A. Al-Eldan, K. Shams Al-Deen, 74 EAGE Conferece, Extended Abstract, P034

7. The end of unblended acqyisition, (2013), G. Berkhout, G. Blacquiere, E. Verschuur, 75 EAGE Conference, Workshop paper: 103

8. Broadband seismic data with vibrator harmonic signals, (2012), J.T. Hu, H.Z. Wang, 74 EAGE Conference, Extended Abstract P038

9. Логинов К.и., Жуков А.П., Шнеерсон М.Б., Логинов И.В. , Нелинейные волновые поля в акустическом каротаже и вибрационной сейсморазведке, (2012), ООО «Издательство ГЕРС

10. Lansley M. Shifting paradigms in land data acquisition, First Break, (2013), V.31, №3

## Подробнее об авторах

Шнеерсон
Михаил Борисович

доктор технических наук, профессор Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина.

Жуков
Александр Петрович

доктор технических наук, профессор МГУ, Директор ООО "Геофизические Системы Данных"

# Невзрывные сейсмические источники с широким частотным спектром.

## Часть II - Дебалансные вибраторы или что надо сделать, чтобы невзрывные сейсморазведочные источники имели широкий частотный спектр.

■ Чичинин И.С., Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск.
■ Сагайдачная О.М., СНИИГиМС, г. Новосибирск

*От редакции: В предыдущем номере журнала была опубликована 1-я часть статьи Чичинина И.С. и Сагайдачной О.М. «Невзрывные сейсмические источники с широким частотным спектром». Опубликованный материал вызвал живой интерес читателей к затронутой в статье тематике. Редакция уверена, что 2-я часть статьи, помещенная в данном номере журнала, будет воспринята читателями с не меньшим интересом. Сам факт опубликования в журнале статьи известного российского геофизика Иннокентия Сафьяновича Чичинина редакция считает своей большой удачей. Мы желаем ему здоровья и дальнейших творческих успехов на благо российской геофизики.*

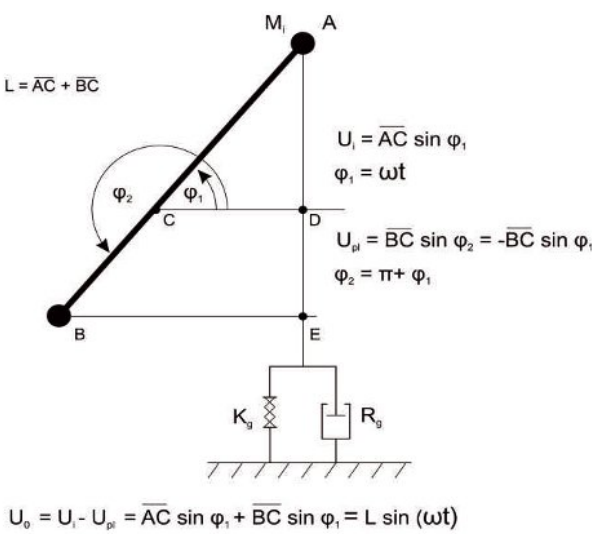
***Аннотация.*** *Из источников, работающих на поверхности земли, наибольшими технологическими возможностями обладает дебалансный вибратор. К тому же он самый простой. Но заставить работать дебалансный вибратор под зоной малых скоростей – дело трудное. Здесь лучше обратить внимание на свайные источники. О них будет рассказано в третьей части.*

Введение

Простейшим источником сейсмических колебаний является дебалансный (эксцентриковый) вибратор, в том числе и потому, что принцип его действия хорошо понятен.

Функциональную схему дебалансного вибратора можно представить в виде невесомого стержня длиной L. На одном его конце (А) укреплена инертная (реактивная) масса $M_i$, другой конец (В) стержня посажен на "конструктивную" ось вращения, которая находится в теле виброплатформы (рисунок 2.1). Ось вращения традиционно направляется по профилю (ось x).

Обратим внимание на то, что далее в каждом вибровозбудителе используется только один дебаланс $M_i$. Дело в том, что в начальной стадии развития вибрационного сейсмического источника использовались всегда два электродвигателя и, соответственно, два дебаланса $M_i$, которые вращались навстречу друг к другу так, что в вертикальном направлении центробежные силы складывались, в горизонтальном – они взаимно "уничтожались". Потом перешли к однодебалансной схеме. Оказалось, что в однодебалансном варианте срок службы электро-




▲ *Рис. 2.1.Функциональная схема дебалансного (эксцентрикового) вибратора.*

двигателей существенно увеличивается. Конструкторы однодебалансных вибромолотов объясняют это тем, что когда используются два электродвигателя, они "конкурируют" друг с другом и из-за этого изнашиваются быстрее.

Будем считать, что точки А и В совпадают с центрами инертной массы $M_i$ и массы $M_{pl}$ виброплатформы (рисунок 2.1).

Обозначим координаты точек А и В через $y_i$, $z_i$ и $y_{pl}$, $z_{pl}$. Центробежные силы, рождающиеся из-за движения масс $M_i$ и $M_{pl}$, запишем в виде:

$$\vec{F}_i = M_i[\ddot{y}_i\vec{e}_y + \ddot{z}_i\vec{e}_z],\ .\vec{F}_{pl} = M_{pl}[(\ddot{y}_{pl}\vec{e}_y + \ddot{z}_{pl}\vec{e}_z] \quad (2.1)$$

Пусть массы $M_i$ и $M_{pl}$, соединённые между собой недеформируемым стержнем $L$, летают в космосе, где нет силы тяжести и кроме двух масс $M_i$ и $M_i$ больше ничего нет.

Поэтому $\vec{F}_i + \vec{F}_{pl} = 0$ . Здесь нетривиальным является то, что, оказывается, инертная масса $M_i$ вращается не вокруг точки $B$, где конструктор вмонтировал на виброплатформе подшипник, ось вращения стержня $L$, а вокруг некоторой точки $C$. Признаком того, что вибратор летает в космосе является равенство:

$$J_i M_i = J_{pl} M_{pl},\ J_i = \dot{y}_i,\ J_{pl} = \dot{y}_{pl}\ .$$

Наличие такого равенства означает, что вибратор на этой частоте не излучает. Когда дебалансный вибратор "спускается из космоса" на поверхность земли, к точке $B$ (к виброплатформе) подцепляется сопротивление грунта. Вертикальная компонента силы испытывает сопротивление $Z_{gz}$, горизонтальная компонента - $Z_{gy}$.

Дальше для экономии места будем рассматривать в основном вертикальную компоненту и будем рассматривать вибраторы только с односторонним вращением против часовой стрелки. В нашем случае $\varphi 1 = \omega t$.

Функциональную схему гидравлического вибратора (см. рис. 1 из части 1) "обратим" в схему дебалансного вибратора.

Уравнение напряжений по контуру $F_o^o$, $R_o$, $M_i$ гидравлического вибратора выглядит (см. часть 1, формула 1.1) так:

$$F_o^o + R_o J_o + p(M_i J_i) = 0,\quad (j = \sqrt{-1}),\ \ j\omega \equiv p \quad (2.2)$$

Уравнение напряжений по контуру $pM_i$, $M_{pl}$, $Z_g$ этого вибратора имеет (см. часть 1, формула 1.2) вид:

$$-J_j pM_j - J_{pl}[pM_{pl} + Z_g] = 0. \quad (2.3)$$

Некоторый источник силы $F_o^o$, опираясь на платформу $M_{pl}$, толкает массу $M_i$ верх–вниз. Масса этому движению сопротивляется с силой $F_i = M_i p^2 U_i = M_i p J_i$, $J_i \equiv pU_i$. Но и платформа сопротивляется с силой $(pM_{pl}+Z_g)J_{pl}$. Других объектов приложения силы нет, поэтому действительно равенство:

$$M_i pJ_i + (pM_{pl} + Z_g)J_{pl} = 0 \quad (2.4)$$

Платформа лежит на грунте, скорости смещения платформы и поверхности грунта (в точках контакта) одинаковые, то есть $J_{pl} \equiv [\dot{z}_{pl}] = J_g \equiv [\dot{z}_g]$. Поэтому сила сопротивления грунта равна $F_g = Z_g J_{pl}$.

Уравнение сил (2.4) совпадает с уравнением общей функциональной схемы гидравлического вибратора, поэтому можем воспользоваться формулами 1.1 - 1.5 и данными таблицы 1, приведенными ранее в части 1.

При использовании равенства $J_i = J_o + J_{pl}$ уравнение (2.2) выглядит так:

$$pM_i J_o = p^2 M_i U_o = p^2 M_i L = F_o,$$
$$F_o = J_{pl}[p(M_i + M_{pl} + M_g) + R_g + (1/p)\cdot K_g].$$

Как видим, при формировании резонансной частоты $f_{ipg}$ массы $M_i$ и $M_{pl}$ ведут себя равноправно. В моменты времени, когда $\varphi 1 = 90$ градусов (см. рисунок 2.1), то есть когда стержень $L$ стоит вертикально, массы $M_i$ и $M_{pl}$ упираются в грунт (на пружину $K_g$) в вертикальном направлении. Таким образом, при определении резонансной частоты мы должны пользоваться формулой $\omega^2_{ipg} = K_g / M_{ipg}$.

Далее вопрос поставим так: какова должна быть инертная масса $M_i$ или величина $M_i \cdot L$, чтобы в диапазоне от 7.5 до 240 Гц "паспортная" амплитуда силы $F_o^o = \omega^2 L M_i$ была бы равна 50 тоннам?

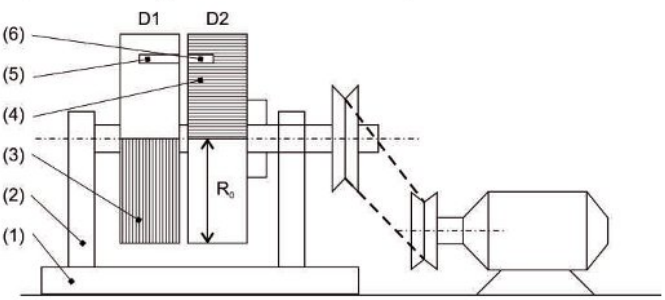
На частоте 7,5 Гц силу $F_o^o = \omega^2 L\, M_i$ = 50 тонн будем иметь при $M_{i(1)} = 5 \cdot 10^5 / (0.1\omega^2) =$ $= 5 \cdot 10^5 / (0.1 \cdot 40 \cdot 7.5^2) = 5 \cdot 10^5 / (4 \cdot 7.5^2) = 5 \cdot 10^5$ / / 225 = 222 кГ. На частоте 15 Гц будем иметь $= M_{i(1)}/4 = 2222/4 = 555$ кГ. И на частотах 30 - 60 – 120 Гц получим $M_{i(3)} = M_{i(2)}/4 =$ $= 555/4 = 138.875$, $M_{i(5)} = 8.68$, $M_{i(6)} = 2.17$ кГ.

Итак, первый член этого ряда $M_{i(1)} =$ $= 2.22 \cdot 10^3$.кГ, а шестой член - $M_{i(6)} = 2.17$ кГ. Отсюда видно, что совместить величины $M_{i(1)} = 2.22 \cdot 10^3$.кГ и $M_{i(6)} = 2.17$ кГ в одной установке - дело трудное. Ясно, что эту задачу надо облегчить.

Поэтому автор предлагает диапазон 7,5÷240 Гц разделить на участки, например, на 5 октав: $f = 7.5–15,\ 15–30,\ 30–60,\ 60–120,\ 120–240$ Гц, и на каждой октаве использовать отдельный вибровозбудитель, принимая во внимание низкую стоимость асинхронных электродвигателей. При этом надо постараться, чтобы вибратор на своей октаве имел резонанс на верхней частоте своей октавы, то есть $f \le f_{ipg}$, где $f_{ipg}$ - резонансная частота для данной октавы.

Теперь нам надо обеспечить $F_o^o = const \approx$ $\approx 50$ тонн (или 25 тонн) не на всём диапазоне 7.5÷240 Гц, а лишь на одной октаве. Как это делается? Конструкторских решений этой задачи множество. По мнению автора, среди этих решений наиболее перспективным является следующий класс устройств.

Итак, надо обеспечить $F_o^o = \omega^2 L\ M_{i(n)} \approx$ $\approx const$, $n = 1 \div 6$. Для этого инертная масса $_iM$ делается из двух "полусковородок" $M^o_{i1}$ и $M^o_{i2}$, каждая из которых имеет массу $M^o_{i1}$ (рисунок 2.2). Эти «полусковородки» сначала раскручиваются до максимальной частоты вращения при нулевом эксцентриситете, как сбалансированный маховик. Режим вибрации осуществляется при снижении частоты вращения, в режиме «даун-свип». Режим «даун-свип» будет реализован, если даже выключить электропитание вибратора (маховик всё равно когда-то остановится).




▲ *Рис. 2.2. Схема вибровозбудителя дебалансного вибратора.*

Но если надо, чтобы сеансы синтезируемой вибрации были «стандартными», то такие сеансы легко могут быть сделаны в «старт-стопном» режиме: отсчёты ординат синтезируемого сеанса делаются с частотой в 5÷10 раз большей частоты вибрации. Положение каждой ординаты сравниваются с положением этой ординаты стандартного сеанса. Если ордината синтезируемого сеанса вибрации опережает ординату «стандарта», то эту ординату следует на компьютере задержать, если же наоборот, то ординату синтезируемого сеанса следует передвинуть во времени в сторону ускорения.

Дебалансная масса $M^o_{i1}$ имеет форму полукруга, то есть имеем сектор окруж-

ности с центральным углом $2\alpha$. Центр тяжести такого тела находится на расстоянии $U_o^o = (2/3)\cdot R_o(1/\alpha)\cdot\sin\alpha.$

При $\alpha=\pi/2$ имеем

$$U_o^o = (2/3)\cdot\frac{R_o}{\pi/2} = R\cdot 0.425,$$

где $R_o$ – радиус исходной окружности. Если $U_o^o \equiv L = 0.1$ м, то внешний радиус $R_o = 0.1/0.425 = 0.24$ м.

Один маховик-эксцентрик жёстко крепится к оси вращения (рисунок 2.2). Другой маховик-эксцентрик может поворачиваться относительно первой на угол $\psi_n = 0 \div 180°$, причём этот угол может фиксироваться; (штырек (5) втыкается в очередное гнездо (6) и регистрируется автоматикой вибратора). В реальном исполнении это делает шаговый двигатель (рисунок 2.2 позиция 7.) В начале сеанса вибрации угол $\psi_n = 180°$, эти полусковородки стоят друг против друга, поэтому суммарная центробежная сила

$$F_o = \omega^2 L(M_{i1}^o + M_{i2}^o)\cdot\cos(\psi_n/2)$$

равна нулю. При такой позиции дебалансы $M_{i1}^o$ и $M_{i2}^o$, как сбалансированный маховик, раскручиваются до максимальной частоты вращения, которая несколько выше верхней частоты октавы. Например, для октавы 25÷50 Гц это будет 60÷70 Гц.

Потом угол $\psi_n$ между массами $M_{i1}^o$ и $M_{i2}^o$ уменьшается, и когда частота вращения снизится до 50 Гц, центробежная сила должна быть равна $F_{o,\,max}^o$, например, 50 тоннам. Здесь важно то, что рабочий сеанс вибрации делается при снижении частоты вращении, то есть в режиме “даун - свип”. При дальнейшем снижении частоты до 25 Гц "паспортная" амплитуда силы должна поддерживаться на уровне 50 тонн, то есть угол $\psi_n$ меняется так, чтобы было $F_o^o = const \approx 50$ тонн. Как это делается, более детально освещено в патентах [2.1, 2.2, 2.3].

После отработки диапазона 50÷25 Гц эксцентрик продолжает крутиться при

$$(M_{i1}^o + M_{i2}^o)\cdot\cos(\psi/2)\cdot L = const,\ \psi = 0,$$

частота вращения медленно снижается с 25 Гц до нуля. Сила $F_i$ уменьшается по квадратичному закону. Например, на частоте 12,5 Гц она будет равна $50/4 = 12.5$ тонн. Генерируемые при этом вибрационные колебания не пропадают: они могут складываться с колебаниями от вибровоздействия в диапазоне 25÷12.5 Гц или же могут регистрироваться автономно и использоваться при обработке сейсмограмм.

В связи с дешевизной асинхронных двигателей каждый вибровозбудитель имеет свой маховиковый аккумулятор с отдельным электродвигателем. Их возят не зря, их вес добавляется к силе прижима виброплатформы. Электродвигатели раскручивают свои маховики параллельно и рабочий сеанс вибрации вибровозбудители дают последовательно или параллельно без перерывов. Такой режим работы для гидравлических вибраторов неосуществим.

Для восстановления импульсной сейсмограммы (то есть для вычисления взаимокорреляционных функций) используется реальный свип-сигнал, зарегистрированный датчиком, установленным на виброплатфоме.

**Низкочастотный вибратор октавы 7÷15 Гц**

Такой вибратор (сборно – разборный с амплитудой силы около 40 тонн) был разработан и изготовлен авторским коллективом (В.И. Юшин, В.Ф. Кулаков, А.А. Зуев, И.С. Чичинин и др.) еще во времена СССР, как продолжение работ СО АН СССР по созданию мощных стационарных вибраторов 100-тонного класса для исследования глубин более 100 км.

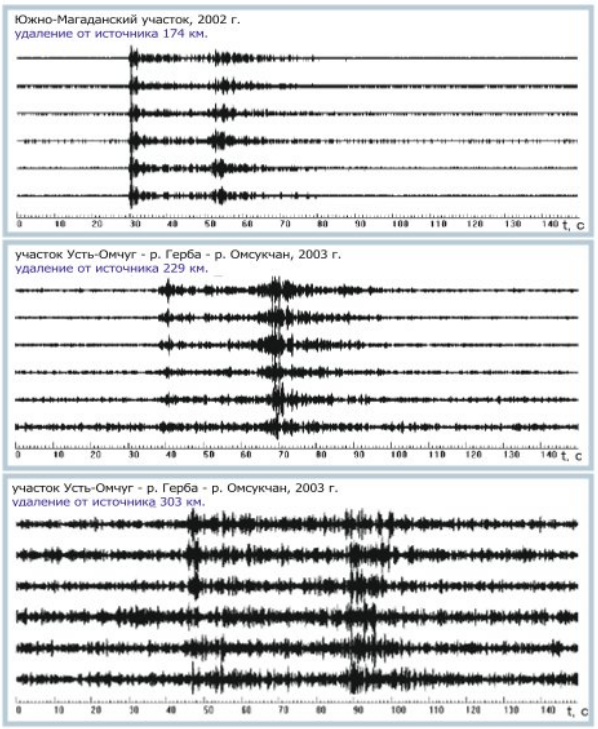
Сборно – разборный виброблок состоит из 3 частей: 1) дебалансы, 2)

виброплатформа, 3) два электродвигателя + дизель – электростанция (рис. 2.3). Первые три элемента грузятся и перевозятся автотранспортом по отдельности. Электродвигатели соединяются с дебалансами при помощи автомобильного кардана (уверенность в таком решении внушил авторам А.А. Зуев). Планировалось сделать вибратор с вертикальной и горизонтальной ориентацией силы, однако из-за недостатка комплектующих изделий была оставлена только вертикальная ориентация силы. Сделать дебалансы поворотными во время сеанса вибрации также не удалось из-за прекращения финансирования работ.

▲ *Рис. 2.3.Передвижной 40-тонный вибратор дебалансного типа ЦВП-40.*

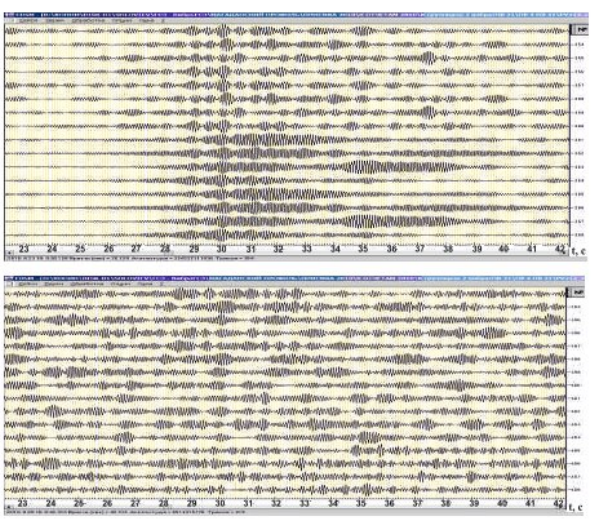
Этот виброблок потом был передан Алтае – саянскому филиалу (АСФ) Геофизической Службы СО РАН для проведения работ методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). За дело взялся конструктор АСФ - Кашун Владимир Николаевич, который оптимизировав конструкцию виброблока, обеспечил его безотказную и точную работу.

Поскольку дебалансы во время вибрационного сеанса не разворачиваются, сила, действующая на грунт, меняется при изменении частоты по квадратичному закону. Здесь выход нашли такой. При ГСЗ




▲ *Рис. 2.4. Коррелограммы, полученные с 40-тонным вибратором, на опорном профиле 2-ДВ.*

расстояние между пунктами возбуждения составляет 20÷40 км. Когда виброблок в пункте возбуждения собран (на это тратится 2÷3 часа), проводится 5÷10 сеансов вибрации с различными углами между дебалансами. Потом, при необходимости, при компьютерной обработке эти сеансы можно собрать и получить сейсмограмму со “столообразным” спектром в диапазоне 7÷15 Гц (рис. 2.4÷2.7)



▲ *Рис. 2.5.*

Рис. 2.5. Эксперимент (2010 г., Центральный участок опорного профиля 3-ДВ в районе Якутска) по группированию двух 40-тонных вибраторов: –коррелограммы с записями продольных волн на удалении ~180км с расстояниями между ними 1 м и 6 м (первая и вторая, соответственно).

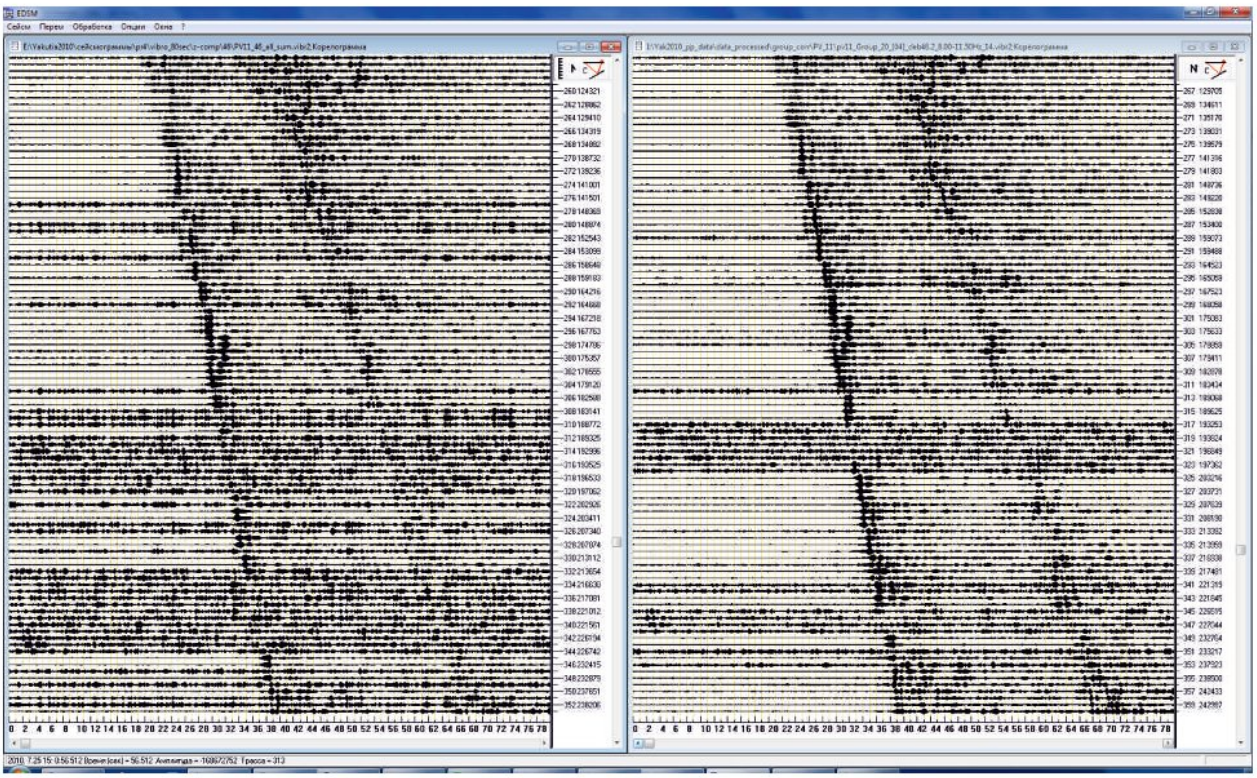


Рис. 2.6. Типичные коррелограммы ГСЗ (Центральный участок профиля 3-ДВ): в левой части просуммированные коррелограммы без использования спецпроцедур обработки, в правой – суммарные коррелограммы с использованием программ улучшения качества.

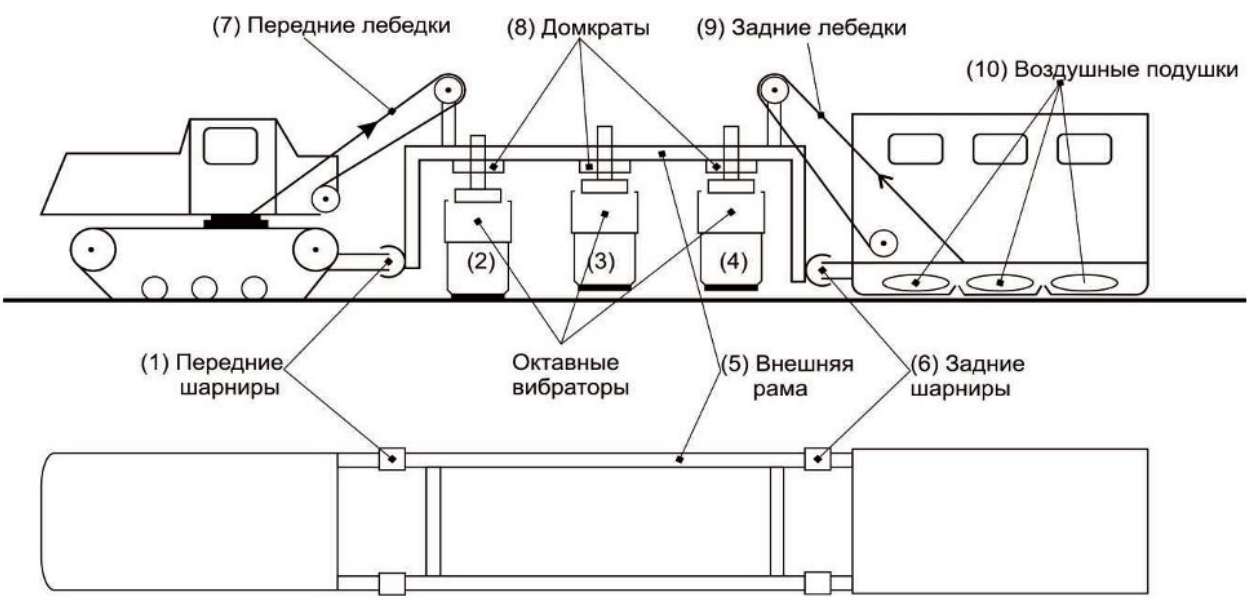



Рис. 2.7. Схема вибрационной установки трех-октавного вибратора.

С вышеописанным вибратором объединенный отряд АСФ и ФГУП «СНИИГГ иМС» прошел в 2002÷2006 гг. опорный геолого-геофизический профиль 2-ДВ от Магадана до мыса Певек (что напротив острова Врангеля), потом отряд повернул на восток и в 2008 г. дошел до Анадыря - Хатанги (около 500 км методом ГСЗ за каждый летний сезон). В 2009 – 2012 гг. работы ГСЗ были продолжены на опорном профиле 3-ДВ (Амурская область, Республика Саха Якутия). Подробности и геологические результаты этих работ описаны в статьях [2.6, 2.7].

**Конструкция трех - октавного (15 – 30; 30 – 60; 60 – 120 Гц) вибратора.**

Вибрационная установка (рисунок 2.7) состоит из трёх транспортных единиц:

1) Тягач (в зимнем варианте это трактор с валом отбора мощности на 20÷40 кВт.);

2) Виброблок (в зимнем варианте это санный прицеп длиной ≈ 5÷6 м; лыжи прицепа служат излучающей виброплатформой. Лыжи вписываются в колею дороги и прорезают снег до более твёрдого основания. При транспортировке внешние борта лыжи превращаются в борта воздушных подушек;

3) Балок - прицеп (утеплённый санный балок, где может жить оператор вибратора и размещается сервисная аппаратура источника. Пол прицепа одновременно служит верхней крышей воздушных подушек, размещаемых под прицепом);

За санным балком по дорожке, "прорезанной" узкими лыжами виброблока перемещается буксируемая сейсмокоса с подключенными к ней трехкомпонентными сейсмоприемниками. Сейсмограммы, полученные с помощью этой буксируемой сейсмокосы используются для уточнения строения ВЧР.

Рассмотрим сначала вариант (рис. 2.7), в котором общий вес этих трёх составляющих составляет около 25 тонн. Центробежная сила, генерируемая дебалансами, тоже равна 25 тоннам. Прижим виброплатформы к грунту осуществляется тем, что вес тягача (трактора) и прицепа (балка) переносится на виброблок при помощи коромысловой (рычажной) системы и тросовых электролебёдок (рис. 2.7, позиция 7).

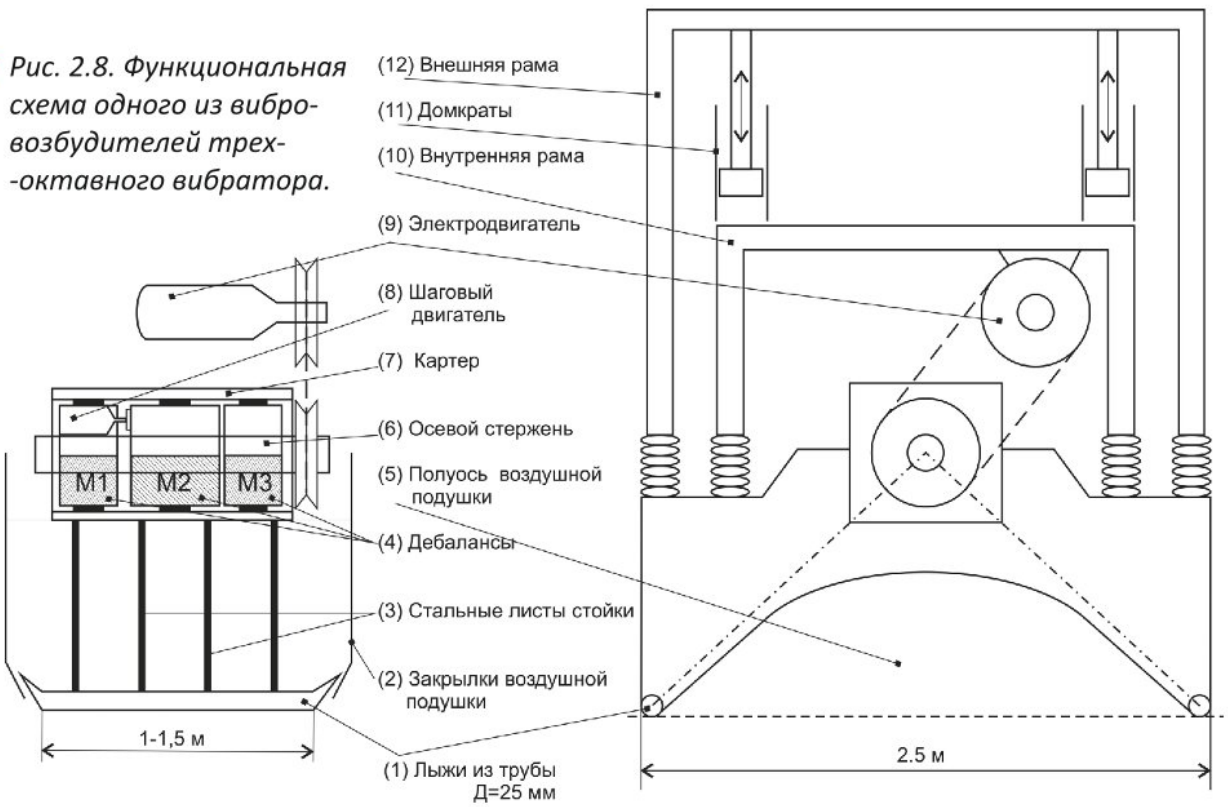
Вибровозбудители октав 15÷30, 30÷60 и 60÷120 Гц здесь стоят друг за другом, занимая длину 5÷6 м. Вибрационная установка (рис. 2.7) имеет общую длину около 20÷25 м. С одной стороны, это снижает маневренность вибрационной установки, с другой – повышает ее проходимость в условиях непромерзшего грунта, незамерзших речек, болот. Поэтому вышеописанная установка (транспорт на воздушных подушках) без проблем перемещается там, где унитарный вибратор весом около 30 тонн будет тонуть.

Октавы работают по очереди и, чтобы сила прижима работающей октавы была около 25 тонн, домкрат давит на виброплатформу только "работающей" октавы, а неработающие вибровозбудители повисают на внешней раме.

На рисунке 2.8 показана функциональная схема одного из вибровозбудителей. В качестве примера рассмотрим вибровозбудитель октавы 60÷120 Гц. Главное отличие его от функциональной схемы (см. рисунок 2.2) состоит в том, что дебалансы $M_{i1}$, $M_{i2}$ крутятся не на оси (как на рисунке 2.7), а вообще не имеют оси и просто крутятся, как “бочка”, внутри герметичного картера на подшипниках скольжения. Причем масса $M_{i1}$ поделена на 2 и установлены симметрично относительно средней точки “бочки”. Такое решение связано с тем, что сила 50 тонн велика и чтобы ось не гнулась, ее пришлось бы делать очень толстой. Напри-

мер, длина $\ell$ дебалансов вибровозбудителя октавы 7,5÷15 Гц, у которого $M_{i1}^{(o)} + M_{i2}^{o} = 2222$ кГ, будет $\ell = 0.8$м (при внешнем диаметре дебалансов 0,48 м). Стойкой служат стальные листы, то есть используется торцовая жесткость листа. Это позволяет несколько снизить общую массу виброплатформы (ведь нам надо обеспечить $M_{i1}^{o} + M_{i2}^{o} + M_{pl} \le 200$ кГ, чтобы резонансная частота была ≈ 120 Гц).

При транспортировке полость заполняется воздухом с использованием установленного наверху вентилятора. Впереди и сзади этой полости имеются “закрылки”, удерживающие воздух внутри воздушной подушки. Каждый вибровозбудитель имеет свою подушку (если один вибровозбудитель взбирается на кочку, то другой вибровозбудитель закроет пространство между кочками.)




▼ *Рис. 2.8. Функциональная схема одного из вибровозбудителей трех-октавного вибратора.*

Платформа имеет треугольную форму, но высота треугольного зуба не 5÷10 см, как было в Вибросейс™, а 0.7÷1 м. Попутно заметим, что глубокие следы работы такого вибратора потом засыпаются песком, то есть работа геофизиков только улучшает дренажные свойства грунта. Чтобы снизить массу виброплатформы, электродвигатель крепится на внутренней раме.

Вращение дебалансов осуществляется при помощи зубчато - ременной передачи. Рабочие сеансы вибрации делаются при снижении частоты, в режиме «даун – свип».

Приблизительно такую же конструкцию имеют 3 – 4 автономные (изолированные друг от друга) воздушные подушки, размещенные под полом санного балка. Таким образом, виброблок и балок при транспортировке превращаются в “транспорт на воздушных подушках”. Следует отметить, что в тексте патента [2.1] описан другой вариант компоновки виброблока, в котором вибровозбудители октав 15÷30, 30÷60 и 60÷120 Гц установлены в виде трёхэтажного сооружения. На нижнем этаже размещается вибровозбудитель октавы

60÷120 Гц. При работе этой октавы замки-скобки отцепляются и массы вибровозбудителей 15÷30 Гц и 30÷60 Гц повисают на "мягких" пружинах, то есть массы этих октав добавляются к массе прижимной системы. Это способствует уменьшению массы $M_{ipg}$ октавы 60÷120 Гц, чтобы резонансная частота $f_{ipg}$ оказалась вблизи 120 Гц.

**Вибро-ударный режим работы вибратора**

При геолого-геофизических исследованиях земной коры существуют такие задачи, для решения которых возмущающая сила 25 тонн недостаточна. Если центробежную силу вибровозбудителя сделать равной 50 тонн, а силу прижима оставить прежней (25 тонн), то сила, действующая на грунт, будет иметь форму синусоиды с обрезанным верхом, то есть вибровозбудитель будет работать подобно вибромолоту. Когда центробежная сила дебаланса "смотрит" вниз, то на грунт будет давить сила 25 + 50 тонн. В моменты времени, когда центробежная сила (50 тонн) направлена вверх, а вниз давит только сила прижима (25 тонн), то сила, действующая на грунт, будет по форме похожа на синусоиду с обрезанным верхом. Первая гармоника силы, действующей на грунт, будет приблизительно равна (50+25)/2 =37 тонн.

Здесь важно создать условия, при которых к моменту времени, когда центробежная сила “смотрит вниз”, виброплатформа успела приземлиться. Это достигается следующим образом. Когда виброблок летает в воздухе, он будет колебаться относительно внутренней рамы с некоторой частотой $f_{kosm}$. Чтобы виброплатформа приземлялась достаточно быстро, частота $f_{kosm}$ должна быть не очень низкой, то есть жесткость спиральных пружин должна быть регулируемой. Необходимую жесткость можно приближенно достигать подбором спиральных пружин.

Всякие высокочастотные наложения (искажения неизбежные при виброударном режиме) на форму силы будут отфильтрованы потом при компьютерной обработке сейсмограмм.

Если же в вибрационной установке использовать не один, а три трактора (чтобы сила прижима было не меньше 50 тонн), то у нас будет 50-ти тонный вибратор с неискаженной синусоидальной силой. Это исключает необходимость группирования 2÷3 вибраторов с целью увеличения силы.

**Контакт вибратора с грунтом.**

Грунтов много. Для слабых грунтов привлекательна виброплатформа, показанная на рисунке 2.8. Узкие лыжи легко прорезают такой грунт до более твердого основания. Чтобы затем переместить виброплатформу, можно использовать вентилятор воздушной подушки, переключив его в режим пропеллера. Дальше по крепости идет рыхлый грунт, почва, проселочная дорога, утоптанная дорога, гравийная дорога, бетонная дорога. Здесь все, сказанное выше, остается в силе, только узкие лыжи не будут утопать глубоко.

**О методике использования трехоктавного (15÷30; 30÷60; 60÷120 Гц) вибратора при "многоволновой сейсморазведке"**

При выполнении многоволновой сейсморазведки с использованием продольных и поперечных волн каждый вибровозбудитель даёт два сеанса вибрации. Один с левым вращением дебалансов, другой - с правым вращением. Чтобы не заниматься переключением направления вращения электродвигателей, сеансы вибрации с правым вращением дебалансов делаются при движении вибрационной установки по профилю с

пункта А в пункт В. Сеансы с “левым” вращением выполняются приблизительно в тех же пунктах возбуждения, но только при движении вибратора с пункта В пункт А, (при этом электродвигатель в том и другом случае вращается в одну и ту же сторону). При записи этих сеансов регистрируются синхроимпульсы в моменты времени, когда масса $_iM$ проходит через верхнюю точку. Потом, при компьютерной обработке, эти две сейсмограммы (синусоиды), записанные в двух сеансах возбуждения, стыкуются во времени так, чтобы упомянутые синхроимпульсы совпали друг с другом во времени. После этого эти синусоиды сдвигаются относительно друг друга так, чтобы максимальная сила была направлена под 45 градусов от вертикали. Полученные две сейсмограммы складывают друг с другом после ведения поправок, описанных в патенте [2.2], потом из исходных двух сейсмограмм получают разностную сейсмограмму. Разностная сейсмограмма будет такая, как если бы использовали вибратор с горизонтальной ориентацией силы, а суммарная - как если бы использовали вибратор с вертикальной ориентацией силы.

Обратим внимание, что здесь ни слова не говорится о синхронном группировании вибраторов. Это связано с тем, что синхронное группирование (без предварительного введения статических поправок) для высокоразрешающей сейсморазведки недопустимо. Суммирование сейсмограмм выполняется с использованием компьютера после предварительной обработки и введения статических поправок.

**Литература, часть 2**

2.1. Чичинин И.С., Сагайдачная О.М., Детков В.А., Егоров Г.В., Шмыков А.Н., Геза Н.И. Способ вибрационной сейсмической разведки и дебалансный вибровозбудитель для его осуществления //Патент №2387488 (RU), опубликовано: 27.04.2010, Бюл. №12.

2.2. Сагайдачная О.М., Чичинин И.С., Детков В.А., Егоров Г.В., Сальников А.С. Способ сейсмической разведки //Патент №2347242 (RU), опубликовано: 20.02.2009, Бюл. №5.

2.3. Малахов А.П., Кашун В.Н, Чичинин И.С. Вибросейсмоисточник //Патент №60002 (RU), опубликовано: 10.01.2007, Бюл. № 1.

2.4. Малахов А.П., Кашун В.Н., Попов А.В., Бурлак П.П., Чичинин И.С. Электромеханический вибровозбудитель //Патент №2299770 (RU), опубликовано: 27.05.2007, Бюл. № 3.

2.5. Малахов А.П., Чичинин И.С. Вибрационный источник //Патент №2421283 (RU), опубликовано: 20.06.2011, Бюл. № 17.

2.6. Еманов А.Ф., Кузнецов В.Л., Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Соловьёв В.М. Технология региональных исследований методом ГСЗ с вибрационным источником //Приборы и системы разведочной геофизики, 2004, №3.

2.7. Сальников А.С., Сагайдачная О.М., Липилин А.В., Сулейманов А.К, Соловьев В.М., Рослов Ю.В. Полевые сейсмические работы на опорных профилях северо – востока России //Приборы и системы разведочной геофизики, 2009, №2.

## Подробнее об авторах

Чичинин
Иннокентий Сафьянович

д. т. н.,
профессор института
Геофизики СО РАН

Сагайдачная
Ольга Марковна

к. т. н.,
зав. лабораторией многоканальной сейсморазведки
ФГУП «СНИИГГиМС»,

# Низкочастотные свипы с вибраторами Nomad-65, электроникой VE464 и программой “CheckSweep”

Даниэль Букар, Жиль Оливри, Дени Мужено (СЕРСЕЛЬ, Франция)

Во всём мире вибрационные источники применяются примерно в каждой второй сейсмопартии, но с помощью этих источников получают более 75% всех сейсмических записей. Такое соотношение объясняется тем, что вибраторы позволяют реализовать высокопроизводительные методики, при которых применяются несколько групп вибраторов, работающих по очереди или даже одновременно. Чаще всего применяются тяжёлые вибраторы с гидравлическим пиковым усилием 60 тысяч фунтов и больше – например, Nomad-65 компании Сересель. Благодаря своей конструкции, особенностям гидравлики такие тяжёлые вибраторы позволяют расширить диапазон частот сигнала в обе стороны. Но из-за сильного поглощения высоких частот геологической средой расширение свип-сигнала в область высоких частот эффективно только при небольших глубинах исследования. В то же время расширение диапазона частот сигнала в сторону низких частот может благоприятно отразиться на качестве изображения среды во всём интервале исследований. Для излучения очень низких частот (вплоть до 1Гц) требуется согласовать пилотный сигнал с возможностями вибратора.

В данной статье мы описываем тот подход к излучению низких частот вибраторами, который, с нашей точки зрения, является наиболее надёжным в отрасли на сегодняшний день. Это сочетание тяжёлого вибратора Nomad-65, позволяющего эффективно возбуждать очень низкие частоты, с новой электроникойVE464 и программным обеспечением «CheckSweep», предназначенным для подбора наиболее подходящего пилотного сигнала. Преимущества такого аппаратурно-программного комплекса, позволяющего улучшить изображения среды по результатам сейсморазведки 3D, показаны в конце данной статьи.

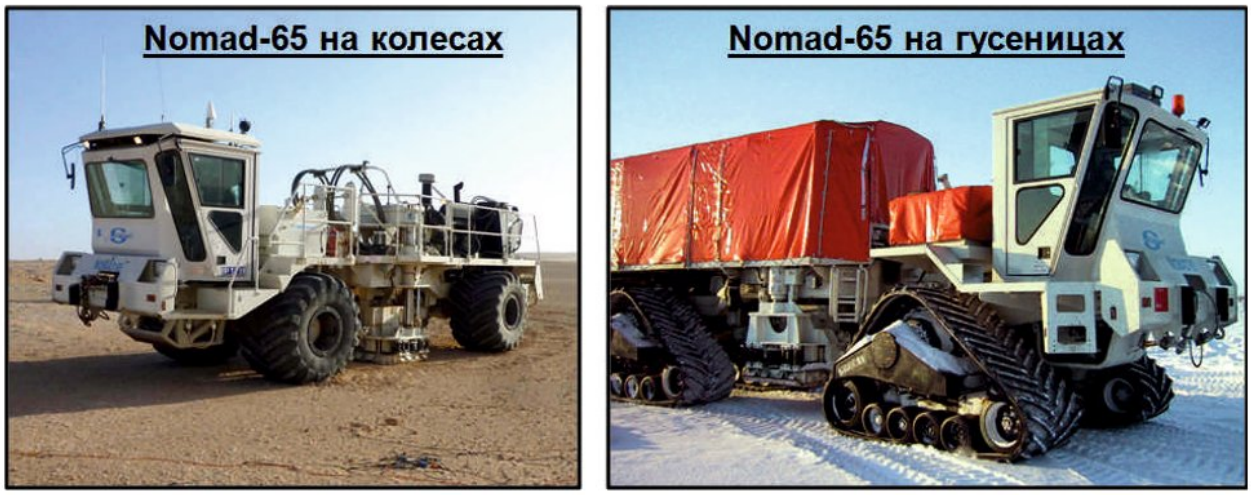
**Тяжёлый вибратор Nomad-65**

Nomad-65 является одним из наиболее популярных тяжёлых вибраторов, особенно в России и СНГ. Этот вибратор построен на технологиях, разработанных в своё время компанией Mertz в США, а именно для такой успешной модели как M26HD. Обновлённый вибратор разрабатывался как универсальный, пригодный для любых типов поверхностных условий. Причём колёса можно менять на гусеницы и обратно (Рис. 1).

Основными характеристиками вибратора Nomad-65 являются следующие:

| | |
|---|---|
| Пиковое усилие: | 62050 фунтов |
| Прижим: | 62412 фунтов |
| Реактивная масса: | 4,1 т |
| Отношение реактивной массы к массе опорной плиты: | 2,6 |
| Ход поршня: | 7,6 см |
| Мин. частота: | 1 Гц |
| Мин. частота на полную мощность: | 7 Гц |

Для работ в условиях низких температур вибраторы Nomad-65 снабжаются дополнительными обогревателями и тентами и выпускаются в модификациях до -30°C и до -50°C. Для тех площадей, где имеются населённые пункты, на двигатель и гидравлические насосы можно устанавливать звукопоглощающий кожух, а применение более узких осей позволяет уменьшить ширину вибратора до 2,5м. Кроме того, в результате сотруд-




▲ *Рис.1. Модификации тяжёлого вибратора Nomad-65. Его конструкция позволяет расширить диапазон частот как в сторону низких, так и высоких частот.*

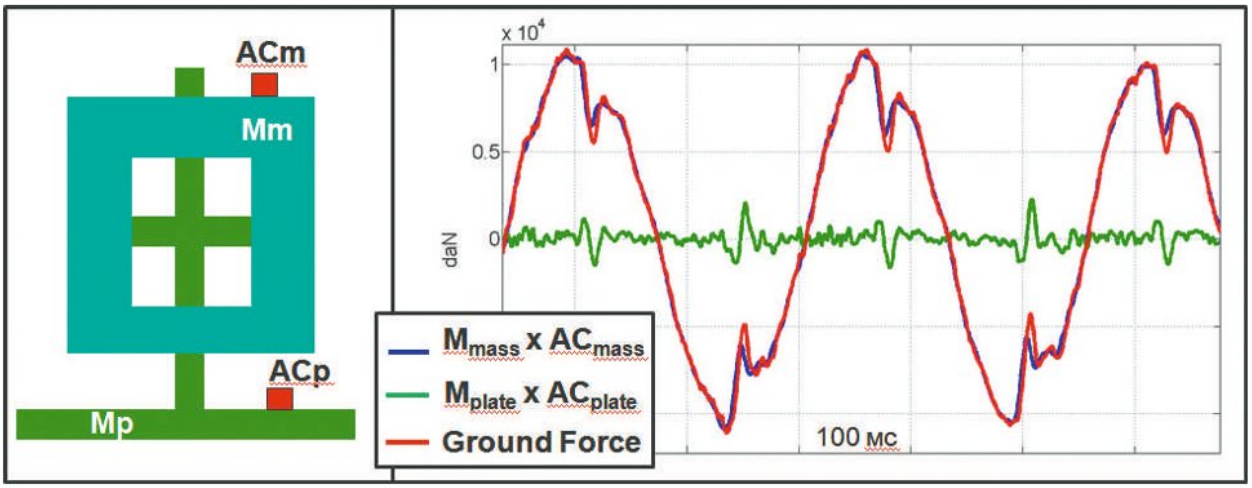
ничества компаний Sercel и Thomas Constructeurs, виброизлучатель Nomad-65 удалось установить на специальном 8-колесном внедорожном шасси грузовика Renault Dxi11. Такой вибратор –"Thomasvib 3246 8x8"– удовлетворяет европейским нормам по выбросу вредных веществ и может передвигаться по дорогам общего пользования (максимальная скорость 85 км/час).

На сегодняшний день (август 2013г.) в 30 различных странах продано 886 вибраторов Nomad-65. Первые вибраторы этого типа были поставлены в Россию (Волгограднефтегеофизика) и страны СНГ (Туркменистан) ещё в 2002 году. Из 271 вибратора, эксплуатируемых в России и СНГ, 81 вибратор (30%) установлен на гусеницах. Что касается диапазона рабочих температур, то 69 вибраторов подготовлено для работ при температурах до -30°C (25%) и 124 вибратора – для работ при температурах до -50°C (46%). Виброизлучатель Nomad-65 обладает полностью обновлённой гидравликой и самым высоким отношением реактивной массы к массе опорной плиты (2,62) среди вибраторов с толкающим усилием 60,000 фунтов. Источник подачи масла находится максимально близко к поршню виброизлучателя, а гидроаккумуляторы служат для поддержания необходимого потока в начале свип-сигнала. Система спуска и подъёма виброизлучателя («лифт») перемещается на двух направляющих колоннах. Усилие прижима равномерно приложено сверху к виброизлучателю во избежание качания и связанных с ним искажений.

**Проблемы излучения низких частот**

Сигнал, возбуждаемый вибратором (толкающее усилие), обычно рассматривается как сумма усилий, развиваемых реактивной массой и опорной плитой(J.J. Sallas, 1984). Реактивная масса (Mm) и масса опорной плиты (Mp) известны, и для расчёта толкающего усилия (GF) остаётся оценить ускорения этих масс (ACm и ACp) и подставить в формулу: GF = (Mm x ACm) + (Mp x ACp). Эту информацию мы получаем путём размещения по одному акселерометру непосредственно на реактивной массе и на опорной плите. Если нужно, более точную оценку ускорений можно получить с использованием нескольких акселерометров, позволяющих скорректировать возможные изгибы движущихся частей виброизлучателя.

Анализ этих двух ускорений показывает, что их вклад зависит от текущей частоты свип-сигнала и от характеристик

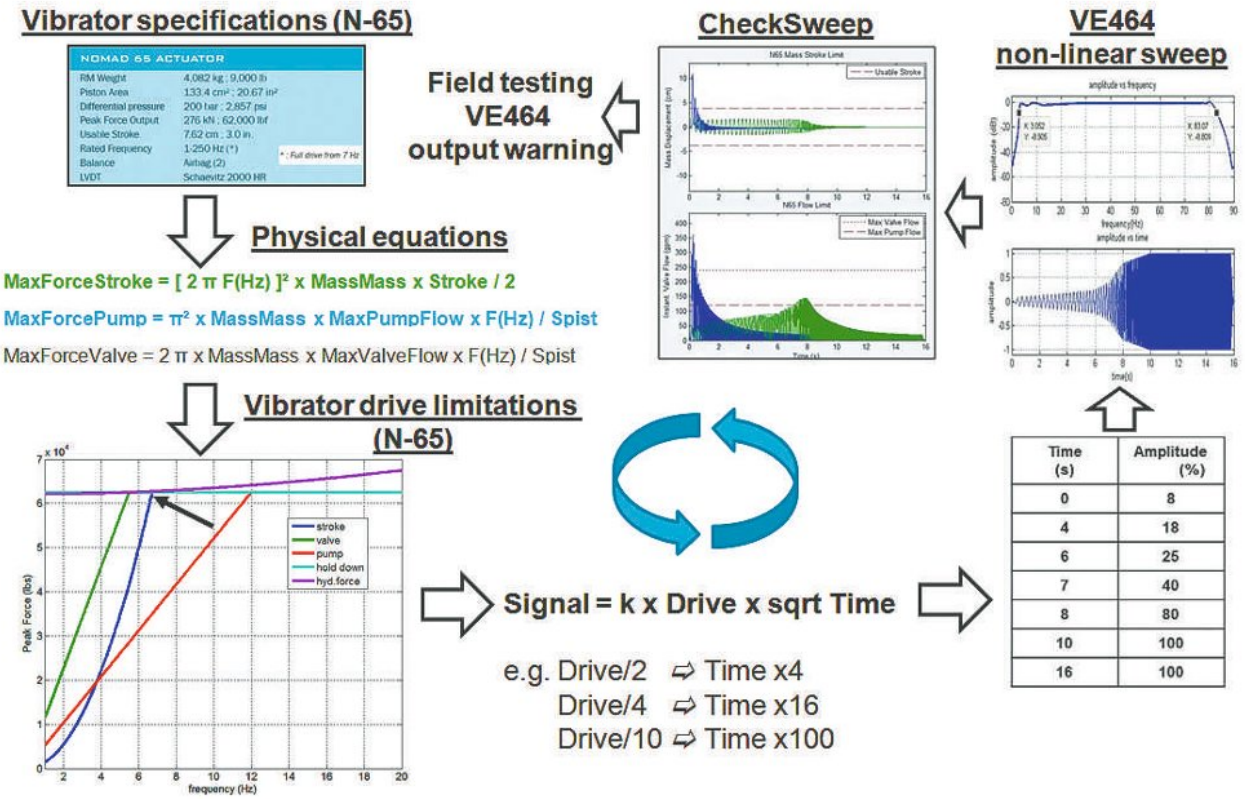



▲ *Рис.2. Оценка толкающего усилия (GF) как взвешенной суммы ускорений реактивной массы (ACm) и опорной плиты (ACp), умноженных , соответственно, на свои массы (Mm и Mp): GF = (Mm x ACm) + (Mp x ACp).*
*На низкой частоте (4Гц в данном примере), доминирует вклад реактивной массы (MmxACm), поскольку ускорение опорной плиты ACp, как и её масса, малы по сравнению с параметрами реактивной массы.*

грунта: на низких частотах ускорение реактивной массы доминирует над ускорением опорной плиты, а на высоких частотах – наоборот. Таким образом, толкающее усилие на низких частотах становится близким к усилию, развиваемому реактивной массой (Mm x ACm – см. Рис.2). Поскольку ускорение ACm зависит от хода реактивной массы, измеряемого всего несколькими сантиметрами, то и толкающее усилие на низких частотах невелико. Возбуждение низких частот можно улучшить за счёт более тяжёлой реактивной массы (Mm). Чем тяжелее реактивная масса и чем больше ход(4,1 тонны и 7,6 см у вибратора Nomad-65), тем выше толкающее усилие на низких частотах.

Другие ограничения вибраторов связаны с их гидравликой (J.J. Sallas, 2010). В начале излучения низкочастотного свипа требуется резкое увеличение необходимого потока (от 0 до максимума), что не может обеспечить насос за такой короткий промежуток времени. Чтобы избежать падения подаваемого давления и снижения ускорения реактивной массы, на излучатель вибратораNomad-65 были поставлены два гидроаккумулятора, оперативно поддерживающие необходимый поток. Ещё одно, но не самое важное ограничение связано с главным серво-клапаном, который напрямую управляет поршнем и может пропустить ограниченное количество масла, особенно при медленном движении на низких частотах вблизи центрального положения, при котором наблюдаются некоторые искажения (Рис.2).

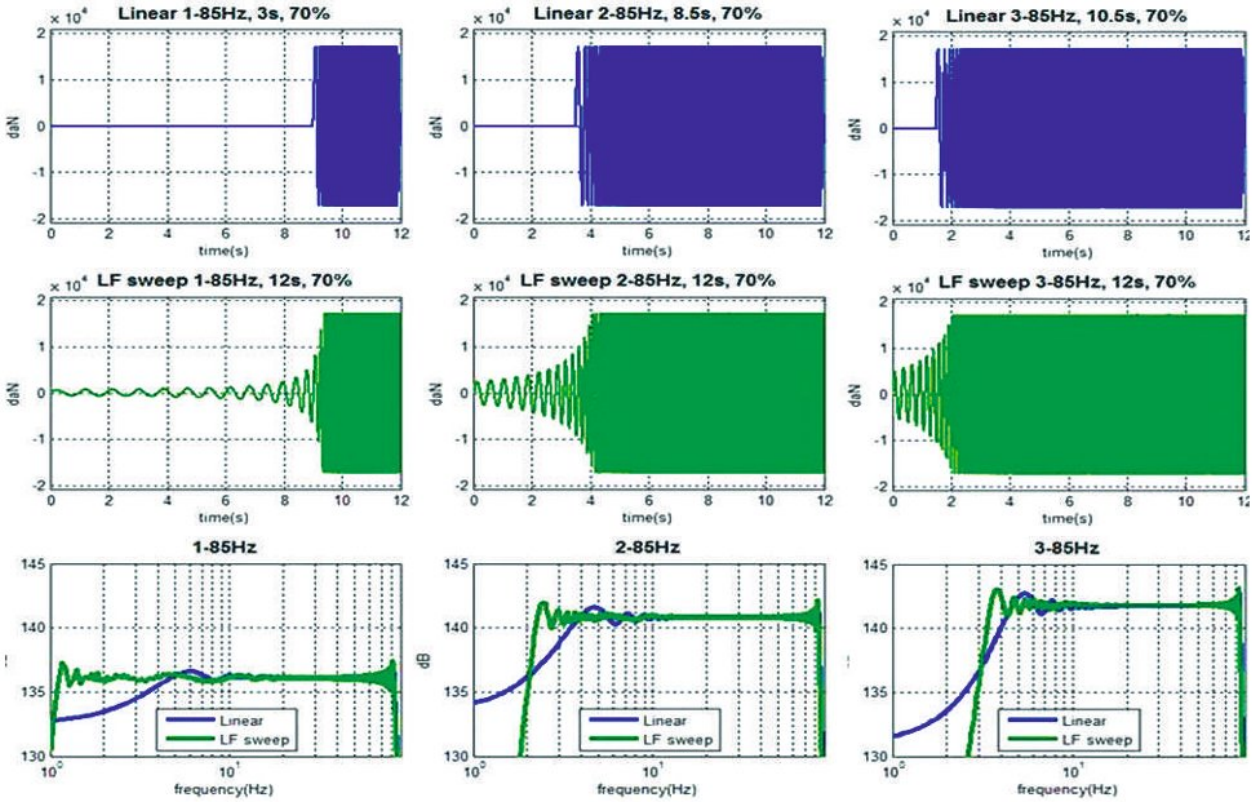
Эти различные ограничения на низких частотах, зависящие от характеристик вибратора (реактивная масса, ход поршня и серво-клапана, максимальный поток через насос и серво-клапан, площадь поршня), можно выразить с помощью уравнений. Эти уравнения определяют зависимость максимального усилия, связанного с насосом, ходом поршня и клапана, от частоты (Рис. 3). Максимальное усилие, развиваемое вибратором, ограничивается гидравлическим пиковым усилием (62050 фунтов для вибратора Nomad-65). Отбор мощности (Drive) – это доля максимального




▲ *Рис.3. Методология, используемая для проверки совместимости того или иного низкочастотного свипа с характеристиками вибратора. Если параметры проверяемого нелинейного свип-сигнала, введённые в программу «CheckSweep», соответствуют возможностям данного вибратора, то этот свип нужно опробовать в поле на каждом вибраторе, оснащённом электроникойVE464.*

усилия, развиваемого вибратором, при которой он сможет работать при допустимом уровне искажений. Отбор мощности выбирают в зависимости от характеристик грунта и частоты.

Для эффективного излучения низких частот пилотный сигнал должен удовлетворять всем этим ограничениям, иначе электроника вибраторов выдаст предупреждение о перегрузке и снизит усилие. Поток от насоса кажется наиболее жёстким ограничением, но это не так при наличии гидроаккумуляторов (чёрная стрелка на рис.3). Насос поддерживает средний поток, в то время как гидроаккумуляторы поддерживают необходимый мгновенный поток. Действительное ограничение связано с механикой: это ход реактивной массы (синяя кривая на рис.3). Пересечение этой кривой с предельным пиковым усилием определяет минимальную частоту, начиная с которой вибратор работает на полную мощность. Для вибратора Nomad-65 это чуть ниже 7 Гц. Описываемая диаграмма показывает, что чем ниже мощность вибратора, тем меньше начальная частота, при которой вибратор работает без перегрузки. Таким образом, на небольшой мощности возбуждение свип-сигнала можно начинать с 1Гц. Снижение мощности вибратора и, соответственно, толкающего усилия можно скомпенсировать увеличением длительности свип-сигнала для достижения плоской амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Однако, развёртка свип-сигнала в этом случае должна быть нелинейной: амплитуда (точнее, отношение амплитуды сигнала к случайным помехам) пропорциональна уровню




▲ *Рис. 4. Примеры низкочастотных свипов (зелёный цвет) с начальной частотой 1, 2 и 3 Гц и конечной частотой 85 Гц. Если свипы имеют фиксированную длительность, равную 12 с, то период работы вибратора на полную мощность (от 7 до 85 Гц) значительно изменяется. Показано сравнение с линейными свипами (синий цвет), имеющими такую же начальную частоту, что и нелинейные свипы. Амплитудно-частотные спектры линейных свипов отражают недостаток самых низких частот.*

мощности вибратора, но она также пропорциональна квадрату времени, затраченного на возбуждение каждой частоты (что связано с тем, что чем длительнее свип, тем больше энергия случайных помех). Таким образом, при снижении мощности вибратора в два раза требуется в четыре раза увеличить длительность возбуждения сигнала на данной частоте, а при снижении мощности в четыре раза – увеличить длительность возбуждения сигнала на данной частоте в 16 раз... Такие свипы с нелинейной огибающей, в которых развёртка замедляется с понижением частоты, называются «low dwell sweeps».

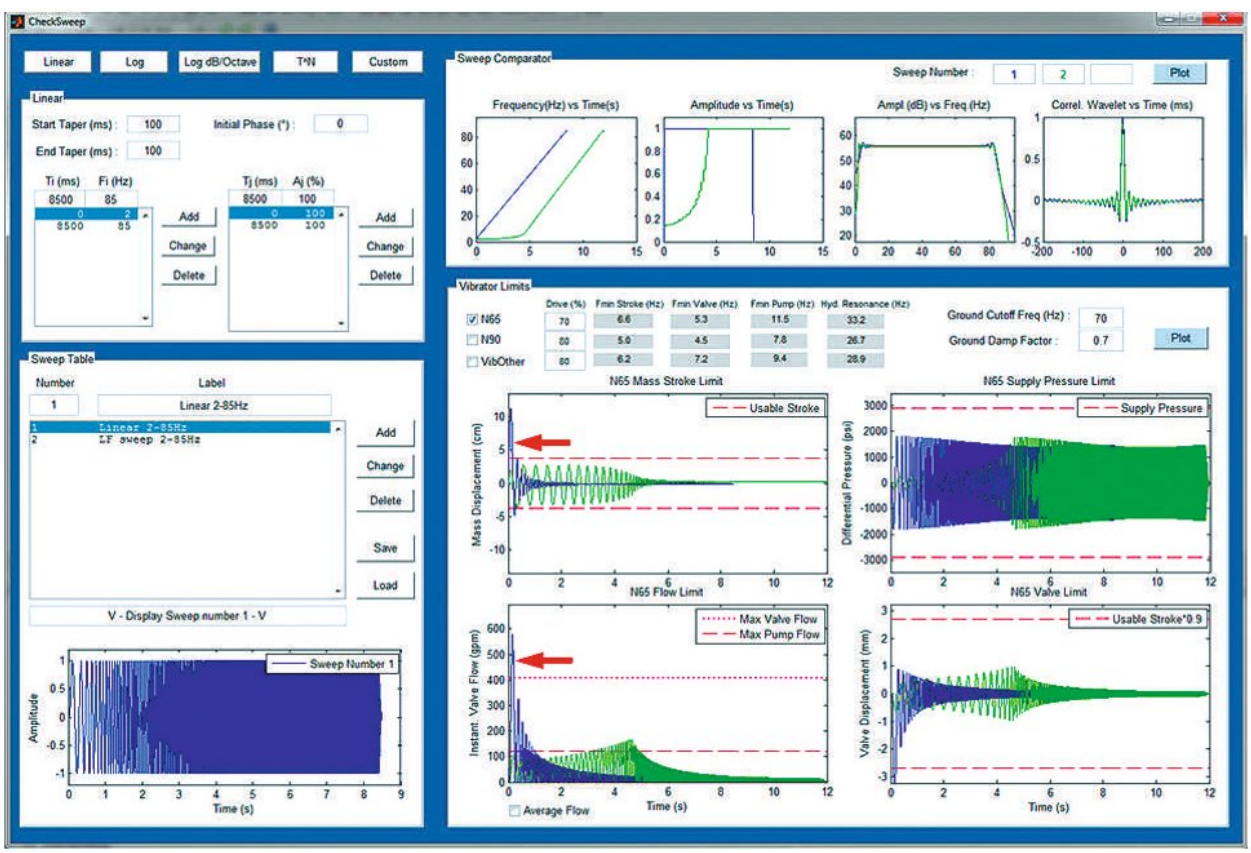
Как мы видим на Рис.4, длительность конусной части огибающей свип-сигнала будет расти с уменьшением начальной частоты (например, для показанных зелёным цветом низкочастотных свипов с 1, 2 и 3Гц). Это отрицательно сказывается на производительности полевых работ. Используя тяжёлый вибратор, такой как Nomad-65 с большим ходом поршня, гидроаккумуляторами на виброизлучателе, эффективными насосами и клапанами, длительность свип-сигнала можно значительно сократить– при условии, что мы спроектируем огибающую свип-сигнала как можно ближе к его предельным возможностям. Такое задание огибающей свип-сигнала описано в нескольких публикациях (J.J. Sallas, 2010.J. WeiandT. F. Phillips, 2013). Оно также защищено патентами: например, «MD-sweep» компании Шлюмберже (C.Bagaini, 2008); «EmphaSeis» компании

СЖЖ (G. Beatenetal., 2010). Таким образом, то, что предлагает наша компания, это не средство для задания низкочастотных свипов, а программное обеспечение, доступное для всех пользователей электроники VE464 и предназначенное для проверки того или иного пилотного сигнала на соответствие возможностям любых эксплуатируемых вибраторов, спецификации которых известны.

**Проверка низкочастотного пилотного свип-сигнала с помощью программы«CheckSweep»**

Программа «Checksweep» работает под управлением ОС «Windows»в одноконном режиме. Она применяется для выбора свип-сигнала (длительность начального и конечного конусов, начальная фаза, формирование таблиц зависимости амплитуды от времени и зависимости частоты от времени – см.Рис.5) или для загрузки пользовательского свип-сигнала, так же как в случае электроникиVE464. В этой программе можно сравнить несколько свип-сигналов в различных координатах: частота от времени, амплитуда от времени, амплитуда от частоты (спектр), а также коррелированный импульс от времени. Характеристики вибратора импортируются из текстового файла. После задания параметров,

▼ *Рис. 5. Графический интерфейс пользователя программы «CheckSweep» под управлением OS Windows. Влевой части рисунка показано, как можно создать или импортировать свип – так же, как с помощью электроникиVE464. Выбранный свип визуализируется. В верхней правой части показано, что можно сравнить до 3 свипов в различных координатах. Ниже показано, что можно выбрать различные вибраторы, а также задать характеристики грунта. Красные стрелки показывают, что линейный свип (2-85 Гц, 8,5 с – синий цвет) не соответствует возможному ходу поршня и потоку, в отличие от нелинейного свипа (2-85 Гц, 12 с – зелёный цвет).*



относящихся к грунту (определяемых по кросс-плоту ускоренийACp и ACm), рассчитывается минимальная частота для таких ограничивающих параметров как ход поршня, серво-клапан и насос, и их можно сравнивать для разных вибраторов и различных значений отбора мощности. Когда вибратор и отбор мощности выбраны, можно сравнить различные свипы (три свипа одновременно тремя различными оттенками) и на различных временах (и, соответственно, частотах): ход реактивной массы (всм) сравнивается с возможным ходом; ход поршня главного клапана (мм) сравнивается с 0,9 возможного хода; мгновенный поток в серво-клапане (в галлонах в минуту - gpm) сравнивается с максимальным потоком в насосе и максимальным потоком в клапане; разностное давление (в фунтах на кв.дюйм - psi) между напорной и возвратной линией сравнивается с предельным значением для данного вибратора (Рис. 5).

Выбранный свип-сигнал должен быть очень близким к предельным возможностям вибратора, чтобы не тратить слишком много времени на нелинейную часть свип-сигнала. Следовательно, необходимы опытные полевые работы для всех вибраторов, характеристики которых обычно различаются (в зависимости от качества обслуживания, старения...). Если в механической или гидравлической системе вибратора наблюдается перегрузка, то электроникаVE464 выдаст конкретное предупреждение. Именно поэтому электроника вибраторов особенно важна на низких частотах для контроля толкающего усилия, поскольку оно создается в условиях, близких к предельным возможностям вибратора, после которых искажения становятся значительными.

**Контроль толкающего усилия на низких частотах с использованием VE464**

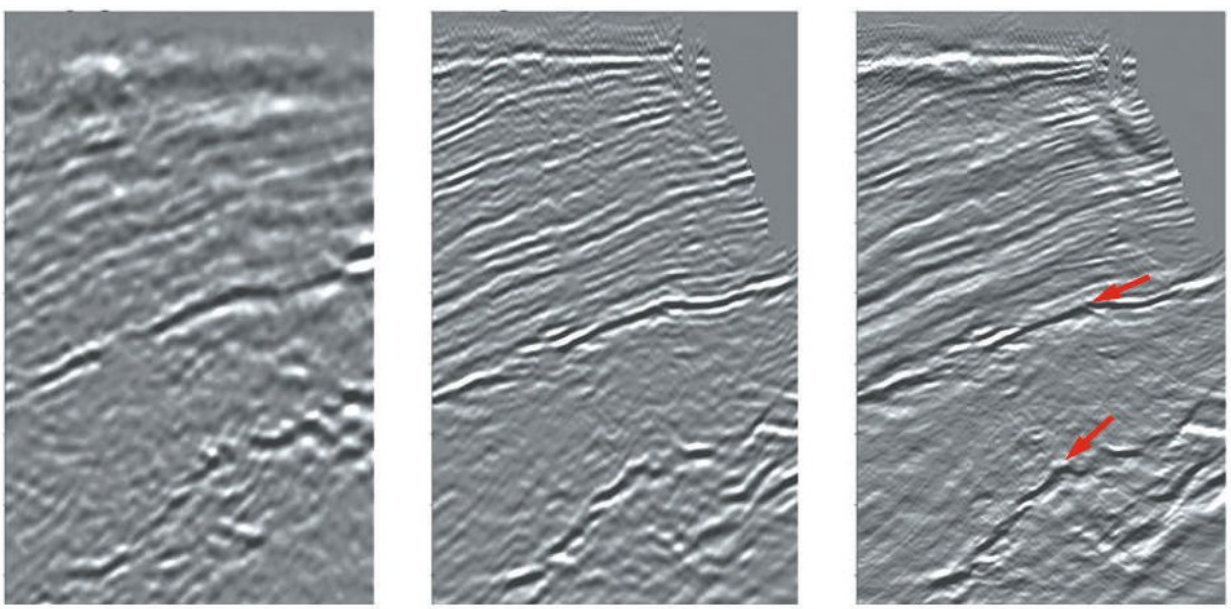
Как и любая другая электроника вибраторов, VE464 состоит из двух частей, связь между которыми осуществляется по радио. Цифровой генератор пилотных сигналов (DPG) – это блок, соединённый с регистрирующей системой(428XL или аналог). Он позволяет задать любой тип цифрового пилотного сигнала (линейный, логарифмический, смешанный, импульсный...). Можно также импортировать пользовательский свип-сигнал, сформированный в том или ином программном обеспечении (Excel, MATLAB), что довольно часто имеет место для нелинейных свипов. Что касается низких частот, нужно упомянуть случайный свип (random), автоматически генерируемый электроникой VE464, в котором частоты изменяются случайным образом. Если распределить низкие частоты по всей длине свипа, можно избежать превышения возможностей и снизить возможные повреждения сооружений в населённых пунктах.

На каждом вибраторе также устанавливается цифровой серво-привод (DSD), который в реальном времени сравнивает толкающее усилие с «пилотом». Классическая цепь обратной связи, которая контролирует и корректирует фазу только тогда, когда значения толкающего усилия проходят через ноль, становится неэффективной на низких частотах. Благодаря полностью цифровому управлению, основанному на численной модели вибратора (D.Boucard&G, Ollivrin, 2010), серво-контроль электроники VE464 подаёт управляющие команды на виброизлучатель каждые 0,25мс, чтобы поддерживать толкающее усилие как можно ближе к «пилоту». Такой подход снижает уровень гармонических искажений. Это особенно важно для частот ниже 3-4Гц,

при которых все нелинейные эффекты и связанные с ними искажения резко возрастают. Однако, поскольку из-за нелинейной огибающей увеличивается длительность свип-сигнала, виброкорреляция позволяет исключить эти искажения на больших отрицательных временах. Таким образом, мы можем утверждать, что в той методологии, которую мы предлагаем для возбуждения свип-сигналов с упором на низкие частоты, искажения не должны быть проблемой: чем ниже частота, тем выше искажения, но увеличивается и отрицательное время, на котором искажения будут исключены после корреляции.

**Практический пример из Южной Африки**

Возможности вибратора Nomad-65 по возбуждению очень низких частот при использовании специальных свипов (EmphaSeis) проиллюстрированы недавними вибросейсмическими работами 3D с высокой плотностью наблюдений (1.92 млн. трасс на кв.км) на золотом руднике в Южной Африке в 2012 году (M. Denisetal., 2013). Эту съёмку сравнили с предыдущими работами 3D(32000 трасс на кв.км), выполненными в 1996 году с использованием стандартного линейного свипа10-90 Гц. На мигрированных разрезах (Рис. 6) преимущества высокой плотности наблюдений (сеть пунктов возбуждения 50 х 50м) выразились в превосходном качестве изображений среды во всём диапазоне от мелких до глубоких целевых границ (до глубины 4 км). Благодаря широкополосному свипу(3-160Гц), возбуждаемому тремя вибраторами Nomad-65, был получен компактный сейсмический импульс. Вклад низких




▲ *Рис. 6. Сравнение вертикальных сечений: изобычного массива 3D (10-90 Гц, 32000 трасс/км²) и массивов 3D с высокой плотностью (1,92 млн. трасс/км²), полученных с широкополосными источниками (3 вибратора Nomad-65, свип: 3-160 Гц EmphaSeis). Разрезы справа обладают значительными преимуществами по качеству изображения и вертикальной разрешённости благодаря высокой плотности наблюдений и широкополосному сигналу. Средний разрез подвергнут фильтрации, чтобы продемонстрировать вклад частот ниже 10 Гц, которые на разрезе справа обеспечивают более компактный импульс и показывают текстуру (красные стрелки).*

частот можно оценить, сравнив разрезы с полосовой фильтрацией 10-160 Гц и 3-160 Гц: динамическая выразительность улучшилась, сейсмогеологические комплексы и их текстура выделяются более отчётливо. Отражения от кровли и подошвы монотонного комплекса, отмеченного красными стрелками на Рис.6, характеризуются отсутствием многофазия, что иллюстрирует потенциал повышения вертикальной разрешённости за счёт низких частот. В целом, сейсмический разрез с широким диапазоном частот позволяет выполнить детальную сейсмостратиграфическую интерпретацию.

Низкие частоты не только улучшают вертикальную разрешённость. Они менее чувствительны к поглощению и дифракции и повышают глубинность исследований. Они содержат информацию, раскрываемую при сейсмической инверсии, о длиннопериодных изменениях в исследуемых слоях и позволяют получить абсолютные оценки их акустических свойств, которые не требуют привязки к скважинным данным. Например, очень низкие частоты позволили получить точную скоростную модель изучаемой среды, подтверждённую полноволновой инверсией (G.Beateetal., 2013). Низкие частоты также более чувствительны к изменениям пластового флюида в порах породы, что делает их полезными для площадного сейсмического мониторинга.

В течение длительного времени возбуждение очень низких частот не применялось в нашей отрасли – в основном, по причине того, что прежние вибраторы не могли излучать и контролировать такие частоты. Многие специалисты также боялись повышения амплитуд поверхностных волн, которые трудно подавить на этапе обработки, особенно если они записаны с аляйсингом. Кроме того, обрабатывающие комплексы не были приспособлены для обработки низкочастотных данных. Ситуация изменилась в последние годы и теперь многие нефтяные компании, особенно на Ближнем Востоке, требуют расширить сигнал в сторону низких частот (S.Mahrooqietal., 2012). Однако, регистрация очень низкочастотных данных (вплоть до 1-2 Гц) всё ещё проблематична по различным причинам, включая использование 10-Герцовых сейсмоприёмников, амплитудно-частотные характеристики которых имеют спад с крутизной 12 дБ на октаву ниже их собственной (резонансной) частоты. Чтобы преодолеть эти ограничения, тяжёлые вибраторы предлагается использовать в сочетании с цифровыми акселерометрами (например,DSU) или низкочастотными геофонами (например,SG-5).

**Благодарности**

Авторы выражают благодарность Анатолию Череповскому и Рамилю Закирову за перевод данной статьи на русский языки и её редакцию. Мы также благодарим компанию «AngloGold Ashanti» и особенно Вогана Чемберлена и Мишеля Дени за разрешение использовать их материалы.

**Литература**

Bagaini, C., 2008. Low-frequency vibroseis data with maximum displacement sweeps.The Leading Edge, 27, p.582-591.

Baeten, G., A. Egreteau, J. Gibson, F. Lin, P. Maxwell, and J. J. Sallas, 2010.Low-frequency generation using seismic vibrators. 72nd Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Extended abstracts.

Baeten,G., F. ten Kroode, S.Rawahi,and S. Mahrooqi, 2013.Onshore Low Frequency Acquisition for Full Waveform Inversion - from Field Trials to State of the Art Production Surveys. 75th Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Workshop paper I07.

Boucard, D. andOllivrin,G., 2010. Development in vibrator control.Geophysical Prospecting, 58, p.33-40.

DenisM., BremV.,andPradalieF., 2013.Is Broadband Land Seismic as Good as Marine Broadband? 75th Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Workshop paper I08.

Mahrooqi, S., S. Rawahi, S. Yarubi, A. Yahyai, K. Hunt, F. Clow, and I. Vincent, 2012.Cracking very LF land seismic acquisition - A step change. 74th Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Extended abstracts.

Sallas, J. J., 1984.Seismic vibrator control and the downgoing P-wave.Geophysics, 49, p.732–740.

Sallas, J. J., 2010. How do hydraulic vibrators work? A look inside the black box.Geophysical Prospecting, 58, p.3-18.

Wei, Z., and Phillips, T.F., 2013. On the generation of low frequencies with modern seismic vibrators, Geophysics, 78, 2, p. 91-97.

## Подробнее об авторах

Даниэль Букар

Вице-президент по разработке оборудования для наземной сейсморазведки

Жиль Оливри

Инженер НИОКР, подразделение по разработке оборудования для наземной сейсморазведки

Дени Мужено

Главный геофизик

## К итогам III-го международного научно-практического семинара «Современные тенденции сейсморазведки»

С 16 по 18 июля 2013 г. в г. Речица (республика Беларусь) состоялся III-й международный научно-практический семинар «Современные тенденции сейсморазведки». Организаторами семинара выступили - Управление сейсморазведочных работ объединения «Беларусьнефть» и российская компания ООО «Фирма «Геосейс».

В работе семинара приняли участие ученые и специалисты-практики из России, Франции, Украины, Беларуси, Венесуэлы и Эквадора. На семинаре было представлено 25 докладов, касающихся актуальных проблем, связанных с поиском нефтяных и газовых месторождений. В ходе обсуждения докладов, дискуссий, неформального общения участники семинара смогли обменяться мнениями о перспективных направлениях развития сейсморазведочных технологий, поделиться опытом, полученным при проведении работ в различных сейсмогеологических условиях Беларуси, Украины, России и ряда стран Латинской Америки.

Высокую оценку перспективам сотрудничества с сейсморазведчиками «Белоруснефть» по проведению сейсморазведочных работ на нефть и газ на территориях своих стран дали специалисты Венесуэлы и Эквадора. И это не удивительно, учитывая тот значительный опыт, который белорусские сейсморазведчики приобрели в ходе проведения сейморазведочных работ на территории России, Беларуси, Украины, Армении, Северной Кореи, Ирака, Индии, Сирии и ряда других стран.

Традиционно значительный интерес у участников семинара вызвал доклад о приоритетных направлениях деятельности одного из организаторов семинара – российской компании ООО «Фирма»Геосейс». Как отметил генеральный директор компании С.В.Гурьев, компания владеет необходимым персоналом и полным спектром геофизического оборудования от ведущих мировых производителей для комплектования сейсморазведочных партий. Данное оборудование включает как стандартное наземное телеметрическое сейсморегистрирующее оборудование, так и комплексы, предназначенные для проведения работ по технологии многоволновой сейсморазведки. Одним из важных направлений деятельности компании является производство и сервисное обслуживание импульсных электромагнитных источников «Геотон».

Третий международный научно-практический семинар в Речице завершил свою работу. Разъехались участники семинара. Но тот бесценный опыт, который они приобрели в процессе работы семинара, при обсуждении докладов, в ходе открытых дискуссий и неформального общения, несомненно, поможет им в решении проблем, возникающих в процессе проведения сейсморазведочных работ, будет способствовать расширению и укреплению связей между геофизиками стран-участниц семинара

# NOMAD

## ВЕЗДЕХОДНЫЙ ВИБРАТОР

Nomad – это вибратор последнего поколения с пиковым усилием до 400,3кН разработанный с учетом 30летнего опыта. Известный своей прочностью и надёжностью даже в экстремальных условиях, Nomad отличается высоким качеством сигнала и высочайшей производительностью.

**ВЫСОКАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ**

- Разработан для работы в экстремальных условиях при температуре до -50°C

**УЛУЧШЕННОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ СРЕДЫ**

- Конструкция виброизлучателя позволяет снизить искажения

**ПОДДЕРЖКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

- Локальные техцентры и склады запасных частей

Sercel

Ahead of the Curve℠

Nantes, France
sales.nantes@sercel.com

Houston, USA
sales.houston@sercel.com

www.sercel.com

ANYWHERE. ANYTIME. EVERYTIME.

# Газодинамический источник сейсмических колебаний

Болотов А.А., ООО «ТюменНИИгипрогаз», г.Тюмень

*Представлены физические основы использования взрывоспособных газовых смесей для формирования ударных волн. Приводятся функциональная схема аппаратурного комплекса газодинамического источника сейсмических колебаний (ГИСК) и результаты сравнительных опытно-методических испытаний ГИСК с вибрационными и пневматическими источниками.*

Известно, что сейсморазведка методом общей глубинной точки (МОГТ) является основным эффективным методом полевой геофизики, позволяющим иметь данные о геологическом строении месторождений углеводородов. Вместе с тем, представляемая сейсморазведочная информация не всегда является полностью достоверной.

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

Для решения подобных сложных геолого-промысловых задач в слабо дифференцированных по акустическим свойствам нефтегазовых отложений севера Тюменской области нужны высокоразрешаемые сейсмические данные, несущие частоты которых достигают 100 Гц.

Одним из способов решениях этих задач является скважинная и межскважинная сейсморазведка, при проведения которой возбуждение упругих колебаний и их регистрация осуществляются либо в соседних скважинах, либо в одной из глубоких скважин и на поверхности, т.е. межскважинное просвечивание (МП) и обращенное вертикальное сейсмопрофилирование (ВСП). Главная проблема при проведении МП и ВСП - это мощность источника колебаний, помещаемого в скважину [1].

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

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

Указанные особенности мелководных и транзитных зон не позволяют применять стандартные сухопутные и морские технологии и технические средства формирования сейсмических колеба-

ний, регистрацию и интерпретацию сейсмических данных.

Возбуждение колебаний в транзитных зонах при глубине моря 1-2 м производят взрывами традиционных ВВ в пробуренных неглубоких отдельных скважинах или с помощью специальных погружных пневматических источников объемом 2-3 л. В морских условиях при мощности водного слоя 2-3 м исключительное применение имеют групповые пневмопушки с суммарным объемом 20 л и рабочими частотами 30-70 Гц. Например, пневмоизлучатели “Bolt”( производства США), сейсмические пневмоизлучатели семейства «Геохи-унисигнал» института Геохимии и Аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН и пневмоисточники «Пульс 6 М» ( разработка ГНЦ ФГУГП «Южморгеология») [2].

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

- принципиальная невозможность дистанционного дозирования и контроля мощности взрывного импульса,
- отсутствие возможности формирования серии импульсов на фиксированной глубине скважины без подъема источника колебаний,
- особая техника безопасности доставки, хранения ВВ и проведения работ.

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

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

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

- высокочастотный спектр возбуждаемого сигнала;
- высокую идентичность возбуждаемых колебаний при повторных воздействиях в процессе накопления;
- экологическую безопасность.

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

В целях создания надежной геолого-геофизической основы разработки

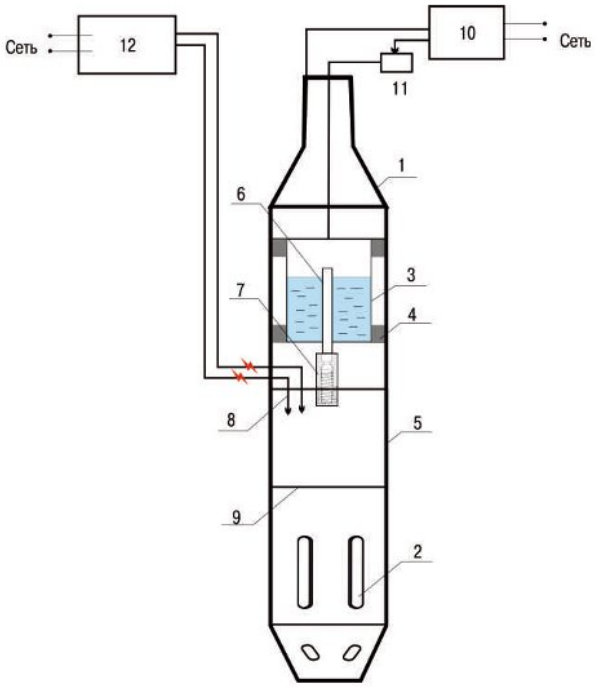
месторождений углеводородов путем проведения сейсмических исследований в глубоких скважинах, в транзитной зоне, а также в акватории моря в ООО «ТюменНИИгипрогаз» разработан многофункциональный газодинамический источник сейсмических колебаний (ГИСК) [3,4].

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

Основные преимущества применения газообразных взрывоспособных сред состоят в том, что газовая смесь формируется внутри глубинного скважинного снаряда, помещенного в скважину, при непрерывным дистанционным контроле на устье скважины, реализуется возможность создавать серию ударных импульсов без подъема глубинного снаряда и осуществлять регулировку мощности, определяемую прочностью стенок скважины.

Общий вид и функциональная схема ГИСК представлены на рис.1

Компоновка ГИСК включает: корпус 1, снабженный дюзами 2, электрод электролизера 3, изоляторы 4, камеру сгорания 5, дренажную трубку 6, клапан-отсекатель 7, инициирующее устройство 8, разрывную мембрану 9. Система электропитания содержит инвертор 10, представляющий собой понижающий трансформатор и диодный выпрямитель, регулятор 11 цепи питания электролизера и блок управления 12 инициирующим устройством 8.




▲ *Рис.1 Функциональная схема ГИСК*

Формирование ударных волн осуществляется следующим образом. Постоянный ток с регулятора 11 подается на электрод электролизера 3. Созданная электролизером взрывоспособная газовая смесь заполняет камеру сгорания 5. При достижении определенного объема газовой смеси высоковольтным импульсом с блока управления 12 инициирующем устройством 8 производится подрыв смеси.

**Преимущества ГИСК**

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

- полная безопасность для обслуживающего персонала;
- экологическая безопасность для окружающей среды;
- возможность создания серии импульсов без подъема глубинного снаряда;

- возможность дистанционного контроля и дозирования интенсивности колебаний;
- широкий диапазон применения: ВСП, МП, НВС, контроль ГВК и НВК;
- возможность проведения сейсмических работ в акватории моря, в транзитных зонах;
- технологическая и экономическая эффективность.

альтернативный традиционным взрывным способам возбуждения сейсмических колебаний с применением твердых ВВ.

Опытно-методические сравнительные испытания ГИСК и газодинамического сейсмического источника ГСК выполнены совместно с ОАО «Газпромгеофизика» и ОАО «Костромагеофизика» в Ярославской области на скв. № 5 «Скалинская». Получены амплитудно-частотные спектры на разных удалениях, отмечено, что частота колебаний, формируемых ГИСК, в 2 раза выше частоты колебаний, создаваемых ГСК.

**Техническая характеристика ГИСК**

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

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

Как следует из табл.1, газодинамический источник может рассматриваться как

Совместно с ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» выполнены сравнительные опытно-методические испытания ГИСК и

▼ *Табл. 1. * - Величина давления - на расстоянии 1м от центра взрыва.*

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

▸ *Табл. 2.*

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

различных конструкций пневмоисточников «Пульс» в транзитной зоне акватории речного порта г. Саратова и в акватории Черного моря. В результате этих испытаний установлены амплитудно-частотные и интегральные характеристики ГИСК.

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

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

Анализ результатов всего комплекса испытаний позволяет сделать вывод, что созданный источник сейсмических колебаний при корректном его использовании применим в широком диапазоне геофизических работ.

**Список литературы:**

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах.- М: Наука,1973.343 с.

2. Гуленко В.И. Карпенко В.Д. Шлыков В.А Влияние внешнего акустического поля и границ волнового слоя на акустические характеристики пневматического излучателя. ж.Разведочная геофизика. -М: Недра,1989. Вып.110,с.98-105.

3. Болотов А.А. Крылов Г.В. Совершенствование стимуляции скважин посредством импульсного газодинамического метода.- М: ж.Наука и техника в газовой промышленности № 4(16), 2003 – 24-28 с.

4. Крылов Г.В. Болотов А.А. Патент РФ № 2250986.

5. Баум Ф.А. Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. – М: ГИФМЛ,1959,с 730

## Подробнее об авторе

Болотов
Альберт Александрович,

к. физ.-мат. наук,
зав. сект. лаборатории
инновационных
технологий добычи
и транспорта газа ООО
«ТюменНИИгипрогаз»

# Импульсный электромагнитный источник «Геотон-15». Опыт практического применения.

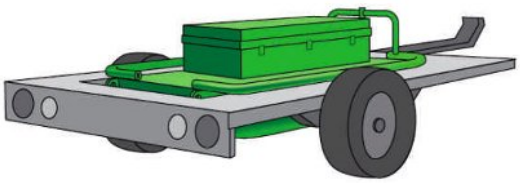
Гурьев С.В., Лопухов Г.П., Юров А.А., ООО «Фирма «Геосейс», г. Москва

Одним из направлений деятельности компании «Геосейс» является создание и внедрение в геофизическое производство наземных электромагнитных источников сейсмических колебаний. Это направление развития импульсных невзрывных сейсмоисточников имеет очень хорошие перспективы, доказательством чему является успешное внедрение в геофизическое производство созданного ранее компанией «Геосейс» малогабаритного электромагнитного источника сейсмических колебаний «Геотон - 12», предназначенного для проведения сейсморазведочных работ МОГТ-2D, МОГТ-3D, МПВ, ВСП и НВСП.

В одиночном варианте исполнения данный источник - «Геотон - 6» (рис. 1), может использоваться при проведении сейсморазведочных работ по изучению верхней части разреза, при решении инженерных задач. Этот универсальный, легкий, мобильный и высокопроизводительный источник, обеспечивает возможность получения качественного сейсмического материала там, где использование тяжелой техники затратно, а иногда просто невозможно. Этому способствует специальная колесная база, позволяющая перемещать источник с использованием любого транспортного средства (квадроцикл, любые внедорожники).

Вместе с тем, практика проведения геофизических работ ставит перед разработчиками источников возбуждения сейсмических колебаний все новые и новые задачи.

Повышение энергоэффективности, увеличение мощности источника, улучшение его массогабаритных показателей и, в конечном счете, обеспечение высокой сейсмической эффективности источника – вот те задачи, которые решили наши специалисты, создав новый сейсмоисточник в линейке оборудования компании Геосейс – «Геотон-15» (рис. 2).

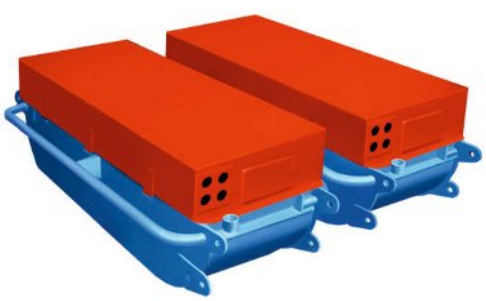


▲ *Рис. 1. «Геотон-6» на универсальной колесной базе.*

Благодаря использованию новых технологий, прежде всего в производстве короткоходового двигателя, который определяет энергетические параметры источника и его сейсмическую эффективность, удалось существенно увеличить мощность источника.

В источнике «Геотон-15» использованы более энергоемкие конденсаторы, что позволило довести энергию их зарядки до 1.5 кДж. Уже первые лабораторные испытания показали хорошее преобразование запасенной энергии в энергию механического перемещения рабочих частей. Коэффициент преобразования составляет 80-90%.

Кроме того, велась работа по совершенствованию транспортной базы «Геотон-15», что, в конечном счете, обеспечило существенное снижение его общего веса.



▲ *Рис. 2. «Геотон-15». Группа из 2-х источников.*

В результате, энергоэффективность сейсмоисточника «Геотон-15» в 2 раза превосходит энергоэффективность сейсмоисточников, ранее разработанных нашей компанией, и обеспечивает ему целый ряд преимуществ перед сейсмоисточниками такого же типа других производителей.

В сезоне 2012-2013 были проведены производственные испытания новой разработки компании Геосейс на одной из площадей Салымского месторождения ХМАО с применением экологосберегающей технологии.

Шаблон состоял из 14-ти приёмных линий по 128 каналов в каждой. Расстояние между линиями приёма составляло 300 м, между линиями возбуждения – 400 м. Шаг между пунктами приёма и пунктами возбуждения был равен 50 м. Максимальные удаления ПП-ПВ составляли 3793 м. Система формировала 56-кратное накапливание в общих средних точках с дискретностью 25х25 м. Общая площадь исследований по объекту 300 кв.км.

Необходимость применения импульсных невзрывных сейсмоисточников обосновывалось большими объёмами работ по возбуждению упругих колебаний, сложными условиями бурения взрывных скважин, развитой сетью подземных и наземных коммуникаций, 70-ти процентной заболоченностью территории. Была успешно выполнена регулярная система наблюдений. Работы проводились в зимний период. Используемое оборудование включало: сейсмоисточники «Геотон-15» (рис. 3) и телеметрический сейсморегистрирующий комплекс Sercel-428. По отработанному участку работ было получено равномерное распределение кратности по ОГТ.

Результаты работ, проведенных с использованием импульсных источников «Геотон», обеспечили геологов надежной информацией с достаточной разрешенностью сейсмоданных даже в тех зонах, в которых ранее не удавалось реализовать равномерное покрытие сетью сейсмопрофилей.

На рис. 4 представлены временные разрезы, полученные при предваритель-

*Характеристики источника «Геотон-15» приведены в таблице:*

| Характер воздействия на грунт | Импульсный |
|---|---|
| Напряжение питания источника, В | ~ 220 |
| Сила воздействия на излучающую поверхность в импульсе, Н | 150000-180000 |
| Потребляемая источником мощность, кВт | 0,8- 1 |
| Рабочее напряжение заряда конденсаторных батарей, В | 850-950 |
| Габаритные размеры модуля источника, мм | |
| - длина полоза | 1390 |
| - ширина полоза | 440 |
| - высота | 530 |
| Вес источника, кг | 590 |

▲ *Рис. 3. Группа из 6 источников «Геотон-15»*

ной обработке первичного полевого материала (без усложненного графа обработки).

Кроме того, были проведены опытные работы МОГТ-2D по выявлению сейсмического эффекта при уменьшении числа источников в группе, вплоть до одного источника.

Во время опытных работ на сейсмопрофиле были продублированы 50 ПВ одним источником «Геотон-15». Даже учитывая малую кратность ОГТ, полученные сейсмограммы и временной разрез убедительно продемонстрировали, что единичный источник имеет достаточно высокую мощность.

Результаты сопоставления разрезов при работе группы из шести источников и одного источника, представлены на рис. 5.

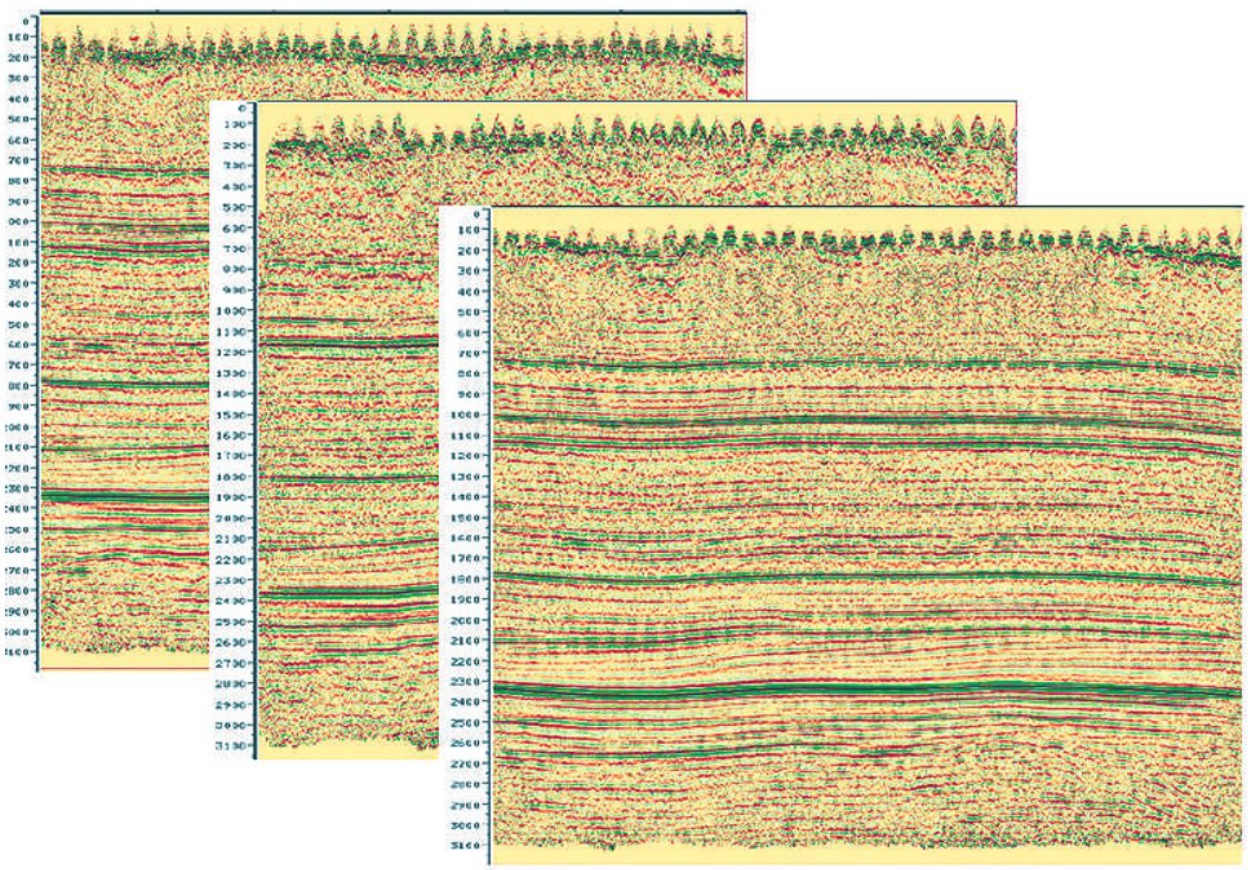
Как видно из результатов опытных работ, на временном разрезе прослеживаются отражения от горизонтов юрских отложений и пластов нижнего мела, которые на данной площади залегают на глубинах до 3000 м.

Выполненный цикл опытных и производственных работ и полученные при этом результаты позволяют сделать вывод о том, что созданный компанией «Геосейс» сейсмоисточник «Геотон-15» существенно превосходит по своим характеристикам источники сейсмоколебаний такого же типа других производителей. Сейсмоисточник «Геотон-15» является универсальным, обеспечивая возможность решения различных по сложности и глубинности геофизических задач.

Основные преимущества, которые отличают этот источник от аналогов:

1. Повышенная проходимость и мобильность за счет меньших габаритов и веса;

2. Возможность перемещения лю-



▲ *Рис. 4. Предварительные временные разрезы по отработанному участку площади.*

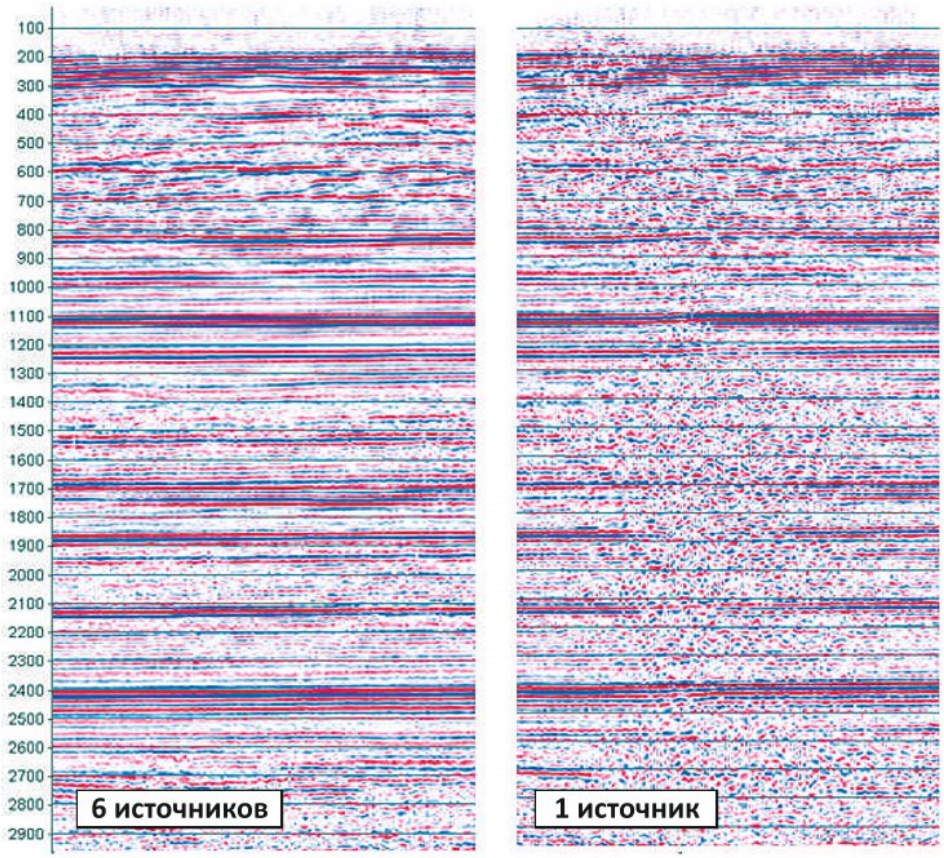



*Рис. 5. Сопоставление временных разрезов, полученных группой источников и единичным источником.*

*При проведении опытных работ на профиле МОГТ-2D были продублированы 50 ПВ одним источником* ***«Геотон-15».*** *Результаты показали достаточную мощность* ***единичного*** *источника, даже учитывая малую кратность ОГТ.*

бым транспортным средством;

3. Компактность, позволяющая перевозить источник на дальние расстояния в контейнере;

4. Взаимозаменяемость сейсмических модулей, при работе в группе;

5. Обеспечение набора вариаций нагрузок на грунт;

6. Обеспечение выполнения работ в труднодоступных районах, в которых проведение сейсморазведки с другими источниками невозможно;

7. Возможность подключения к системе синхронизации GPS любого уровня точности;

8. Существенное снижение риска причинения вреда экологии района выполнения работ;

9.. Более полное удовлетворение требований охраны труда и техники безопасности в процессе выполнения полевых работ.

## Подробнее об авторах

Гурьев
Сергей Владимирович

генеральный директор

Лопухов
Геннадий Петрович

советник по научно-
-техническим вопросам,
д.т.н.

Юров
Антон Александрович

главный геофизик

# НЕПРЕРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА.
# ИЗ МОРЯ НА СУШУ.

Из любых сухопутных условий в переходные зоны и далее в море до глубин 700 метров наши, истинно бескабельные модули, работают как единая система обеспечивая быстрое, безопасное и эффективное получение высококачественных данных.

Наши ZLand и ZMarine модули обеспечивают бесперебойную работу даже в самых неблагоприятных условиях: в плавучих льдах, холодных арктических районах, скалистой местности и далее.

Упростите свои следующие сейсморазведочные работы и получайте надежные данные.

fairfieldnodal

fairfieldnodal.com

СИСТЕМЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ЛИЦЕНЗИРОВАНИЕ ОБРАБОТКА ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

# Развитие импульсных невзрывных сейсмоисточников. Источник «Волгарь-27» с индукционно-динамическим двигателем.


- Алелюхин Н.П., ЗАО «Геосвип», г. Москва,
- Асан-Джалалов О.А., ЗАО «Геосвип», г. Москва,
- Ивашин В.В., Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти,
- Иванников Н.А., Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти


*Статья содержит мнение авторов об основных особенностях конструктивного решения сейсмоисточников и преобразования в них потребляемой энергии в механическую энергию воздействия на грунт, а также результаты разработки источника «Волгарь-27».*

Известные основные недостатки классического взрывного способа создания сейсмических волн, который широко применяется и в настоящее время, - экологический вред, большая стоимость и ограниченные области применения, побудили к разработке невзрывных источников виброимпульсного и импульсного типа.

Наиболее широкое применение за рубежом и в России получили сейсмические вибраторы гидравлического типа. В России они изготавливаются в ЗАО «Геосвип», г. Москва. Недостатками вибраторов являются большой вес, высокая стоимость и эксплуатационные расходы. Достоинство – высокая сейсмическая эффективность.

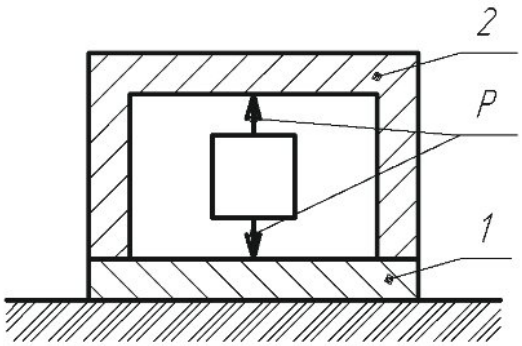
Одними из первых невзрывных импульсных сейсмоисточников были обычная «кувалда» или «Падающий груз», создающие сейсмические волны в результате воздействия ударной массой на поверхность грунта. «Кувалда» и в настоящее время находит применение при проведении работ по малоглубинной сейсмике, а «Падающий груз» практически не применяется.

В период 70-80 г.г. основное внимание уделялось разработке импульсных источников различной мощности с использованием в их конструкции специальных двигателей, обеспечивающих создание на излучающую плиту или непосредственно на грунт достаточно мощное механическое воздействие, деформацию грунта и формирование сейсмической волны. Название такого источника обычно определяется видом применяемого двигателя: газодинамический, пневматический, электродинамический и т.д. [1].

В настоящее время ввиду недостаточно высоких технических, сейсмических и эксплуатационных характеристик они практически не применяются.

Начиная с 2000 года, всё более широкое применение находят источники с электромагнитным двигателем в виде специального силового электромагнита с импульсной системой питания, получившие условное название «электромагнитного». Известно, что в США также начаты разработки источников с электромагнитным двигателем, которые выполняются с использованием российского опыта разработок электромагнитных источников.

Упрощённая механическая схема, отражающая силовую связь между основными элементами источника - двигателем, пригрузом и излучающей плитой, (рис. 1) соответствует большинству технических решений импульсных источников.




▲ *Рис. 1. Упрощённая механическая схема импульсного источника.*

На расположенную на грунте плиту-излучатель 1 опирается пригруз (пригрузочная масса) 2, между которыми применяемый двигатель создаёт импульсную силу P длительностью $t_и$ и максимальным значением $P_m$. Под действием силы плита ускоряется и деформирует грунт, создавая в нём деформацию, упругая составляющая которой является, по сути дела, причиной формирования сейсмической волны. Пригруз под действием силы двигателя ускоряется вверх, перемещается в поле силы тяжести земли и затем замедленно возвращается в исходное положение. Применение демпфера обеспечивает уменьшение скорости механического взаимодействия пригруза с плитой с целью ослабления повторного воздействия плиты на грунт и создаваемых при этом волн-помех.

Конструктивное выполнение реального источника зависит, в первую очередь, от типа применяемого двигателя (гидравлический, пневматический и т.д.), а также от выбора параметров, определяющих вес сейсмоисточника и его сейсмическую эффективность. Плита-излучатель с площадью прилегания к грунту S должна иметь минимально возможный вес при достаточной её жёсткости и прочности. С уменьшением массы плиты повышается доля механической энергии двигателя, передаваемой через плиту в деформацию грунта, уменьшается необходимый вес пригруза и, в конечном счете, уменьшается вес источника и улучшаются многие иные его характеристики.

При деформации грунта плитой в нём создаются как упругая, так и неупругая её составляющие. Доля неупругой деформации быстро возрастает с ростом скорости плиты и создаваемого при этом в грунте давления. При превышении давления в грунте значения его прочности, грунт интенсивно уплотняется. При этом разрушается структура грунта, большая часть передаваемой в грунт энергии преобразуется в тепловую, а сейсмическая интенсивность источников резко снижается.

Достаточно обоснованных рекомендаций, касающихся рациональной скорости плиты, при которой обеспечивалось бы допустимое соотношение между упругими и неупругими составляющими деформации грунта, в литературе не приводится. Однако можно принять не противоречащее физике предположение, что эта скорость не должна существенно превышать скорость $V_{см}$ частиц грунта при распространении в нем сейсмической волны. Известно, что

$$V_{см} \approx \frac{\sigma}{Vp \cdot \rho}, \qquad (1)$$

где σ – давление в грунте, ρ - его плотность, а $V_р$ – скорость распространения продольных волн [2].

Для случая усреднения параметров ρ ≈ 2000 кг/м3, $V_р$ ≈ 300 м/с и прочности грунта [σ] = 5·105 Паскаль скорость $V_{см}$ близка к значению 1 м/с.

Важно отметить, что с увеличением плотности грунта и скорости $V_р$ увеличивается и его прочность, характеризуемая значением [σ], что приводит к сравнительно небольшому изменению скорости $V_{см}$ в грунтах различной плотности. В

наиболее широко применяемых вибраторах и импульсных электромагнитных источниках скорости нагрузки грунта плитой-излучателем обычно близки к значениям (1±0,5) м/с. Для сравнения отметим, что, например, в источниках типа «Падающий груз» при сбросе груза с высоты (2..3)м он ускоряется до скоростей ~(6...8) м/с. В источниках с предварительным ускорением груза пневмодвигателем его скорость ещё выше. В источниках газодинамического типа скорости деформации грунта так же весьма велики. И, следовательно, можно сделать предположение, что, по крайней мере, одной из причин недостаточной эффективности мощных сейсмоисточников с чрезмерно большими скоростями деформации грунта являются большие потери энергии механического взаимодействия плиты на грунт, затрачиваемые на энергию его неупругих деформаций.

Для создания новых, более эффективных импульсных источников необходимо проведение специальных теоретических и экспериментальных исследований, основной целью которых должно быть обоснование наиболее рациональных скоростей нагружения грунта плитой-антенной.

При ускорении пригруза силой двигателя вверх расходуется часть механической энергии двигателя, которая может быть экспериментально определена по высоте H его «подскока» в поле тяготения

$$A_{пр} = m \cdot g \cdot H. \qquad (2)$$

Она пропорциональна квадрату создаваемого двигателем на пригруз (и на плиту) механического импульса N

$$N = \int_0^{t_и} P(t)dt;$$

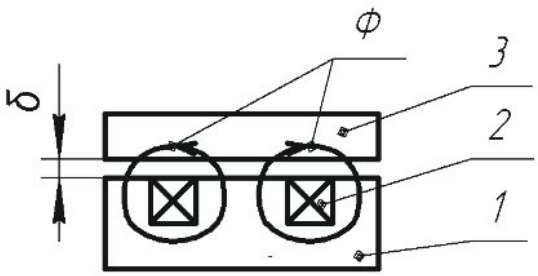
$$(3) \quad Anp = \frac{N^2}{2 \cdot m}.$$

Доля же механической энергии двигателя $A_п$, передаваемой от него в грунт, зависит не только от массы плиты, но и от реологических характеристик грунта, оказывающего противодействие его деформации плитой, а так же от длительности $t_и$ импульса силы.

Из (3) следует, что увеличение массы пригруза сопровождается уменьшением его энергии $A_{пр}$, потребляемой из генерируемой двигателем механической энергии, что приводит к возможности уменьшения веса двигателя. Но при этом увеличивается вес сейсмоисточника. Из теоретических результатов следует, что при применении двигателя с возможно более высоким отношением развиваемой им силы к массе его якоря, уменьшаются необходимая масса пригруза и вес сейсмоисточника, повышаются КПД преобразования механической энергии двигателя в энергию упругих деформаций грунта и динамические характеристики источника.

В связи с этим, при создании экспериментального образца мощного электромагнитного источника был применён специальный короткоходовой электромагнитный двигатель с импульсной системой питания, который послужил основой для разработки сейсмоисточников «Енисей» на усилия до 100 тонн (совместная разработка «Енисейгеофизики» и Тольяттинского политехнического института 1989-1993 г.г.).

После почти десятилетнего перерыва (1993-2000 г.г.) работы по повышению механических характеристик «Енисеев» возобновились. Основные их результаты опубликованы в [3 и 4]. На рис. 2 показаны конструктивные особенности электромагнитного двигателя: 1 – магнитопровод его индуктора с обмоткой возбуждения 2. Магнитопровод 3 якоря двигателя, от которого усилие передается на




▲ *Рис. 2. Конструктивные особенности электромагнитного двигателя.*

излучающую плиту, отделён зазором δ от индуктора 1, закрепляемого на пригрузе.

При подаче в обмотку 2 импульса тока создается магнитный поток Ф и якорь притягивается к индуктору с удельной силой до 150 Н/см2, распределенной по площади полюсов магнитопровода индуктора при практически предельном значении индукции $B_\delta$ в зазоре на уровне (1,8...2) Тл. В конструктивных решениях электромагнитов источников «Енисей СЭМ» и «Енисей КЭМ» и других их модификациях для увеличения силы в электромагнитном блоке применено по два электромагнита, показанной на рис. 2 конструкции. На рис.3 приведена фотография электромагнитного источника «Геотон-12», созданного в ОАО «Геосейс» (крышка источника поднята). Внутри полоза, являющегося излучающим элементом-плитой источника, размещены пригруз, двигатель с системой питания и аккумулятором. Характеристики «Геотона-12» приведены в таблице.

Из опыта проектирования источников и исследования динамики их работы следует, что на конструктивное выполнение, массогабаритные параметры и сейсмическую эффективность существенное влияние оказывают КПД преобразования потребляемой двигателем энергии в механическую и значения коэффициентов $K_1$ и $K_2$, равных, соответственно, отношению развиваемой двигателем силы P к массе его якоря и массе сейсмоисточника. Для различных модификаций источников с электромагнитными двигателями они близки к значениям:

КПД ≈ 60...70%, $K_1$ ≈ 1000 Н/кг, $K_2$ ≈ 120 Н/кг. Причём, при увеличении $K_1$ повышаются динамические характеристики источника и, как следствие, возможности уменьшения веса сейсмоисточника за счет повышения его коэффициента $K_2$.

В связи с успешным применением мощных источников «Енисей» и источников средней мощности «Геотон», различными организациями неоднократно делались неудачные попытки создания источника малой мощности с электромагнитными двигателями для малоглубинной сейсмики, например, переносного источника весом 50...70 кг. Поскольку зависимость между силой и массой источника определяется коэффициентом $K_2 = P/m$, то при массе (весе) источника m = 50 кг значение создаваемой его электромагнитным двигателем силы $P = K_2 \cdot m = 120 \cdot 50 = 6000$ Н, что явно недостаточно. При приемлемой же силе 50000Н масса источника: $m = P/K_2 = 50000/120 \approx 400$ кг.

Для создания источников небольшого веса (переносных и легко транспортируемых) необходимо применение двигателя с существенно более высоким значением коэффициента $K_1$, характеризующим отношение развиваемой двигателем силы к массе его якоря.

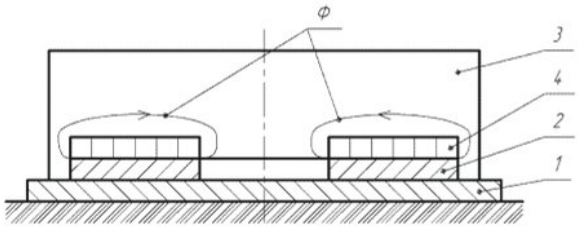
▲ *Рис. 3. Сейсмоисточник «Геотон-12», ООО «Геосейс» г. Москва.*

Этому условию удовлетворяет индукционно-динамический двигатель (ИДД), который нашёл широкое применение в промышленных устройствах, создающих мощные импульсы воздействия на рабочий объект (штамповка и формовка деталей, привод быстродействующих выключателей и прочее) [5]. В ряде публикаций и патентов так же предлагались технические решения источников с ИДД для применения их в наземной и водной сейсморазведке. Однако о достаточно широком практическом их применении в России авторам ничего неизвестно. Упрощенная конструктивная схема наземного источника с ИДД (рис. 4) содержит излучающую плиту 1 с закрепленной на её верхней стороне электропроводящей пластиной 2, опёртый на плиту пригруз 3, в пазах на обращенной к плите стороне которого помещена обмотка возбуждения 4.

При пропускании по обмотке импульса тока разряда емкостного накопителя энергии, который обычно применяется для питания как электромагнитного двигателя, так и ИДД, состоящего из обмотки возбуждения 4 и пластины 2, выполняющей функцию якоря, создается магнитный поток Ф. Он образуется вокруг обмотки возбуждения ИДД и за счёт экранирующего действия электропроводной пластины 2 якоря замыкается в радиальном направлении в области рабочего зазора между обмоткой 4 и якорем 2. В результате между обмоткой и пластиной-якорем создается расталкивающая их сила Р.

$$P \approx \frac{B_\delta^{\,2} \cdot S}{2 \cdot \mu o}\ , \qquad (4)$$

где $B_\delta$ – индукция магнитного поля в области прилегания обмотки к пластине, S – площадь прилегания, определяемая внутренним и внешними радиусами обмотки, а $\mu_o$ – магнитная постоянная.




▲ *Рис. 4. Упрощённая механическая схема импульсного источника с ИДД.*

В результате действия силы Р якорь с плитой смещается в направлении грунта под плитой и деформирует грунт, в котором формируется сейсмическая волна, а пригруз с обмоткой возбуждения подбрасывается вверх в поле силы тяжести и возвращается в исходное положение на плите.

Допустимые по условию обеспечения механической прочности обмотки возбуждения индукции $B_\delta$ в рабочем зазоре двигателя пропорциональны величине тока возбуждения обмотки и могут достигать значений 3...4 Тл, при которых создаваемое двигателем силовое давление между обмоткой и якорем в 2...4 раза больше, чем удельные давления, развиваемые в зазоре электромагнитного двигателя. Учитывая, что масса якоря из-за небольшой толщины 5...7 мм пластины 2 имеет существенно меньший вес, коэффициент $K_1$, характеризующий отношение силы к массе якоря, с увеличением которого уменьшаются размеры и вес сейсмоисточника, существенно превышает значения $K_1$ для электромагнитного двигателя.

В связи с перспективностью создания источников с ИДД, в период 2008- 2012 г.г. была выполнена совместная (Тольяттинский гос. университет и ОАО «СКБ СП» г. Саратов) разработка переносного источника «Квант» [6]. Последний вариант его экспериментального образца показан на рис. 5, а основные технические характеристики отражены в таблице.

▲ *Рис. 5. Переносной сейсмоисточник «КВАНТ-4,5»*

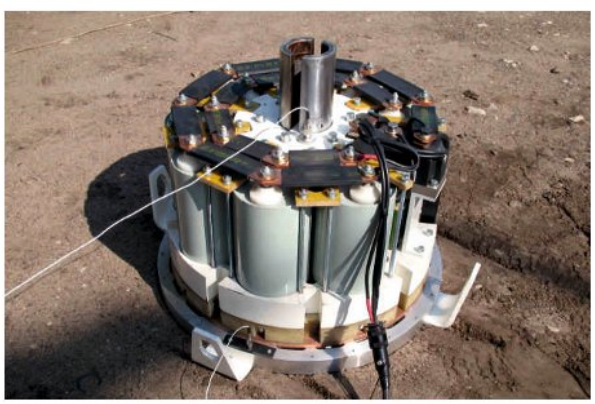
В развитие этого направления Тольяттинским государственным университетом совместно с организацией ЗАО «Геосвип» был разработан экспериментальный образец источника «Волгарь» с ИДД на усилие ~ $27 \cdot 10^4$ Н весом ~300 кг и проведены предварительные заводские испытания на работоспособность с определением его основных технических характеристик. В конструкции «Волгаря-27» (рис. 6) применён ряд новых технических решений, касающихся излучающей плиты, якоря и обмотки возбуждения двигателя, сочленения демпфера с плитой, совмещения пригруза с силовой системой питания двигателя, а так же приняты меры по уменьшению падения давления воздуха в зазоре между якорем и обмоткой возбуждения при работе источника и защите от влияния окружающей среды, что позволило дополнительно уменьшить вес, повысить надежность и расширить возможности применения источника.

Более мощный сейсмоисточник с ИДД на усилия до 106 Н может быть выполнен размещением нескольких источников типа «Волгарь-27» на транспортной базе грузоподъемностью до 2-х тонн.

При разработке «Волгаря-27» была также проведена эскизная проработка импульсного источника весом ~1000 кг с ИДД на силу $20 \cdot 10^4$ Н для создания поперечных сейсмических волн, который мог бы найти применение при решении многих геофизических задач.

В последние годы резко увеличилась потребность проведения геофизических работ на акваториях. За рубежом проводятся разработки малоглубинных, альтернативных традиционно применяемым «пневмопушкам», источников с ИДД. В связи с этим, результаты, полученные при разработке наземных источников типа «Квант» и «Волгарь», могли бы быть использованы при создании водного сейсмоисточника, основными достоинствами которого в сравнении с пневмопушками могут быть возможность оперативного регулирования величины и длительности создаваемых усилий в воде, простота и высокая синхронность работы любого числа источников в группе, уменьшение потребляемой источником мощности, повышенный спектр излучаемых сейсмических волн и простота эксплуатации.

Импульсные источники являются сложными объектами, работающими в напряженных динамических режимах. Для их создания и совершенствования необходимы высококвалифицированные специалисты различного профиля, производственная база, оснащенный



▲ *Рис. 6. Сейсмоисточник «Волгарь-27» без внешнего кожуха.*

▼ *Табл. 1. Основные технические параметры импульсных сейсмоисточников с электродвигателем*

| Показатели сейсмоисточников | «Геотон-12» | «Енисей СЭМ-100» | «КВАНТ-М» | «Волгарь-27» |
|---|---|---|---|---|
| Тип привода | Электро--магнитный | Электро-магнитный | Индукционно-динамический | Индукционно-динамический |
| Сила воздействия двигателя, кН | 120 | 1000 | 45 | 270 |
| Длительность воздействия, мс | 4...7 | 4...10 | 2...2,5 | 2...3 |
| Масса (вес) якоря двигателя, кг | 62 | 250x4=1000 | 2,2 | 21 |
| Масса (вес) пригруза, кг | 360 | 2300x2=4600 | 42 | 235 |
| Масса (вес) источника, кг | 600 | 6650 | 55 | 300 |
| Энергия емкостного накопителя системы питания, Дж | 1350 | 7200 | 850 | 7200 |
| Отношение силы к массам (весу), соответственно, якоря ($К_1$), источника ($К_2$) и энергии емкостного накопителя системы питания ($К_3$):<br>К1, Н/кг<br>К2, Н/кг<br>К3, Н/Дж | <br>~1950<br>200<br>~89 | <br>1000<br>150<br>~139 | <br>~20500<br>818<br>~53 | <br>~13000<br>900<br>~37,5 |
| Интервал времени между воздействиями, с | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Средняя потребляемая мощность, кВт | ~0,25 | 1,2 | ~0,15 | 1,2 |

контрольно-измерительными приборами испытательный стенд, прогностическая оценка необходимого выпуска источников и, конечно же, стабильное и достаточное для выполнения работ финансирование.

В период 70-90 г.г. эти задачи выполнялись при поддержке и финансовом обеспечении Министерствами геологии и нефтяной промышленности СССР.

В настоящее время работы по созданию опытных образцов источников и их совершенствованию чаще всего проводятся в результате инициативной договорённости руководителей небольших геофизических организаций, имеющих весьма скромные финансовые и производственные возможности, с руководителями научно-технических коллективов, имеющих определённый задел и опыт в

области подлежащих решению задач. Естественно, что абсолютной уверенности в успешном преодолении трудностей при решении новых задач в необходимые сроки не может быть в принципе, что не позволяет прогнозировать технико-экономическую эффективность подлежащей выполнению работы. Попытки привлечения к работам по источникам крупных геофизических организаций не встречают понимания в связи с их нежеланием решать задачи федерального значения. В результате финансовых и организационных трудностей перспективные технические решения не патентуются за рубежом и Россия теряет внешний рынок источников. Для решения отмеченных выше проблем необходимо федеральное бюджетное финансирование.

Список литературы

1. Шнеерсон М.В. Теория и практика наземной сейсморазведки / под редакцией М.В. Шнеерсона. – М.: ОАО «Издательство Недра», 1998. – 527 с.

2. Федынский В.В. Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1967. – 672 с.

3. Смирнов В.П. Электромагнитные источники сейсмических колебаний ряда «Енисей СЭМ, КЭМ» // Приборы и системы разведочной геофизики / Ежеквартальное издание Саратовского отделения Евро-азиатского геофизического общества. 2003. №1. 21-24 с.

4. Детков В.А., Щадин П.Ю., Ивашин В.В. Импульсные электромагнитные сейсмоисточники «Енисей»: особенности технического решения и применения. // Приборы и системы разведочной геофизики / Ежеквартальное издание Саратовского отделения Евро-азиатского геофизического общества. 2007. №4. 30-33 с.

5. Карпенко Л.Н. Быстродействующие электродинамические отключающие устройства. Л.: Энергия, 1973. – 158 с.

6. Ивашин В.В., Иванников Н.А., Узбеков К.Х. Импульсный невзрывной сейсмоисточник с индукционно-динамическим приводом для сейсморазведки зоны малых скоростей. // Вектор науки ТГУ. 2012. №4 (22). 160-164 с.

Алелюхин
Н.П.

Генеральный директор
ЗАО “ГЕОСВИП”,
Заслуженный работник
нефтяной и газовой
промышленности РФ

Ивашин
В.В.
д.т.н.,
Тольяттинский
государственный
университет, профессор,
Заслуженный деятель
науки и техники РФ

Асан-Джалалов
О.А.

ЗАО “ГЕОСВИП”,
Директор по НИОКР,
главный конструктор
по электронике
и электротехнике.

Иванников
Н.П.
к.т.н.,
Тольяттинский
государственный
университет,
Заслуженный деятель
науки и техники РФ

# Принципы построения групповых пневматических источников для морской сейсморазведки

Гуленко В.И., ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар,
Рудаков А.В., ФГУП ГНЦ «Южморгеология», г. Геленджик,
Самсонов Е.А., ЗАО «РОМОНА», г. Южно-Сахалинск

Повышение геологической эффективности морской сейсморазведки предполагает постоянное совершенствование всего технологического комплекса, применяемого на акваториях. При этом наряду с использованием современных геофизических судов, спутниковых систем позиционирования и цифровых сейсморегистрирующих телеметрических систем, необходимо применение и достаточно мощных источников, возбуждающих высокоамплитудные и широкополосные сигналы, не осложненные пульсациями, обеспечивающие решение сложных геологических задач в различных сейсмогеологических условиях.

Достижение этой цели обычно осуществляется применением сложных линейных или площадных неоднородных пневматических групп, содержащих в своем составе иногда десятки пневматических излучателей, объединенных в ряд тесных подгрупп – кластеров [1, 9, 11].

При создании таких источников, помимо решения целого ряда чисто технических проблем, связанных с размещением их на борту судна и безопасной эксплуатацией, одной из наиболее сложных задач является определение исходных требований к выбору основных параметров группы, таких, как объемы рабочих камер излучателей и геометрия их группирования, а также других факторов, определяющих амплитудные, временные и частотные характеристики излучаемых акустических сигналов [1, 9, 11].

В настоящей работе рассмотрены некоторые принципы построения линейных и площадных групп пневматических источников для морской сейсморазведки.

Так же, как и при наземной сейсморазведке, при морской сейсморазведке выбор характеристик источника полностью определяется геологической задачей, для решения которой создается бортовой сейсморазведочный аппаратурный комплекс, а также технологическими особенностями проведения сейсморазведочных работ в разных сейсмогеологических условиях и возможностями применяемых транспортных средств.

Так, для решения геологических задач по поиску и разведке глубоко залегающих месторождений углеводородов в шельфовой зоне с глубинами моря свыше 1020 м чаще всего применяются сравнительно большие научно-исследовательские геофизические суда водоизмещением в несколько тысяч тонн, оснащенные мощным компрессорным и специализированным такелажным оборудованием, необходимыми для эксплуатации больших площадных пневматических групп, состоящих из нескольких (от 4 до 8) идентичных линейных подгрупп с суммарным объемом рабочих камер от 40–50 дм3 до 100 дм3 (а иногда и больше).

В последнее десятилетие для морской сейсморазведки по технологии 3D применяются научно-исследовательские суда третьего поколения – так называемые «рамформы», оснащенные наиболее совершенным сейсморазведочным аппаратурным комплексом, позволяющим обеспечить одновременную регистрацию сейсмической информации с нескольких тысяч каналов, размещенных в нескольких десятках одновременно буксируемых кос. В качестве источников при этом используются наиболее мощ-

ные площадные группы, состоящие из 68 одновременно буксируемых линий с общим количеством пневматических излучателей, достигающим сотни.

При скорости буксировки 4–6 узлов, обычной при работах с плавающими пьезокосами, интервал между пунктами возбуждения в 25 м такое судно проходит за время, равное 8–12 с. Производительность компрессорной станции должна обеспечивать гарантированное заполнение за это время всех рабочих камер излучателей группы сжатым воздухом при рабочем давлении 12–15 МПа, при этом вся энергия сжатого воздуха, запасаемая на одно воздействие, может составлять несколько (2–4) мегаджоулей.

Таким образом, общий суммарный объем группы, с одной стороны, определяется производительностью судовой компрессорной станции, а с другой – необходимостью обеспечить такую плотность потока акустической энергии в заданной полосе частот и в заданных телесных углах, которая обеспечит требуемое для успешного решения геологической задачи отношение «сигнал /помеха» на входе буксируемого приемного устройства, т.е. необходимую помехоустойчивость группы.

При детальной сейсморазведке ограниченных по площади объектов, залегающих на средних глубинах, при профильных работах по технологии 2D, чаще используются специализированные геофизические суда второго поколения с водоизмещением до полутора тысяч тонн, имеющие значительно меньшую энерговооруженность и допускающие одновременное использование от 2-х до 4-х линейных подгрупп с общим количеством излучателей до 20–30, при суммарном объеме камер до 30–40 дм$^3$.

До конца 1980-х годов на геофизических судах такого класса нередко применялись компактные пневматические группы с размещением группируемых излучателей на буксируемых металлических рамах. В отличие от линейных и тем более площадных источников компактные группы имеют значительно более высокий уровень взаимного акустического влияния, обладают слабо выраженными свойствами направленности и при одинаковом суммарном объеме обычно уступают линейным группам по всем акустическим показателям [1, 4].

Для решения инженерно-геологических задач при исследованиях неглубоко залегающих толщ и верхней части разреза обычно применяются сравнительно небольшие геофизические суда водоизмещением до 600800 т. В составе технологического комплекса, отработанного в последние годы в ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», в ЗАО «РОМОНА» и др. [7], наряду с обычно применяемыми для решения подобных задач сейсмоакустикой, гидролокацией бокового обзора и другими методами, нередко применяют и высокоразрешающую высокочастотную сейсморазведку с регистрацией в полосе частот от 20–30 Гц до 300–400 Гц. При этом лучшие результаты были получены при использовании в качестве источников возбуждения сравнительно небольших компактных пневматических групп, содержащих 3–5 излучателей (1–2 кластера) с общим объемом до 2–3 дм$^3$, и буксируемых на глубине 2–3 м [7].

При сейсморазведке в условиях мелководья, если глубина моря составляет от 2 м до 8–10 м, обычно применяются сравнительно мелкосидящие малотоннажные суда, энерговооруженность и грузоподъемность которых позволяют эксплуатировать лишь весьма небольшие пневматические группы (8–16 излучателей) с суммарным объемом 10–20 дм$^3$ [1, 4]. В подобных сейсмогеологических условиях до недавнего времени часто применялась, так называемая,

«старт-стопная» технология (в зарубежной терминологии «уо-уо») с периодическими размоткамивыбор-ками косы при непрерывном движении судна. В последнее десятилетие с появлением современных цифровых телеметрических систем, таких, как «BOX», «ARAM ARIES» и других, получили распространение пространственные системы наблюдения с неподвижными донными приемными устройствами и подвижным взрыв-пунктом [6], при этом «старт-стопная» технология больше не применяется.

Хорошие показатели в таких условиях имеют геофизические суда-катамараны, например, типа «Искатель» – рис.1, которые при малой осадке (около 1,5 м) обеспечивают эксплуатацию более мощных излучающих систем, содержащих до 4-х линейных подгрупп с общим количеством излучателей до 30–40, при суммарном объеме камер до 40–50 дм$^3$ [8].

В наиболее сложных сейсмогеологических условиях предельного мелководья и в транзитной зоне наряду с обычным линейным 2D-профилированием с перемещаемой расстановкой (технология «Drag Bottom» с донной косой) в последние годы также широко применяются пространственные системы наблюдения с неподвижным приемным устройством (донная телеметрия, донная коса, или установленные на металлических штырях геофоны) и подвижным взрыв-пунктом, перемещающимся по заданной сети точек возбуждения [4]. В качестве источников применяются обычно сравнительно небольшие группы пневматических излучателей, устанавливаемые на маломерном плавсредстве (понтон, баржа и т.п.) и буксируемые на поплавках с подвеской на глубине 1,0–1,5 м, или волоком по дну (при глубине моря менее 1,0 м). В последнем случае применяется накапливание информации.

В транзитной зоне, при глубине моря менее 0,51,0 м, где возбуждение в водном слое становится неэффективным, лучшие результаты достигаются с использованием пневматических источников погружного типа, возбуждающих сигналы в мелких скважинах и обычно работающих в режиме накапливания. При этом весь аппаратурный комплекс, включая сейсмостанцию, компрессор и шнековую буровую установку или гидромонитор, размещают на транспортных средствах амфибийного класса, имеющих повышенную проходимость – рис.2.

Таким образом, учитывая большое разнообразие решаемых геологических задач, применяемых технологий, а также различие в энерговооруженности и грузоподъемности транспортных средств, используемых в разных сейсмогеологических условиях, наиболее целесообразным представляется создание технических средств для возбуждения

*Рис. 1. Мелководный катамаран НИС «Искатель-5» [8]*

*Рис. 2. Взрыв-пункт с буровой шнековой установкой и погружным пневматическим источником ПИК-3 на базе плавающего гусеничного транспортера. Работы ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» на Северном Каспии [4].*

упругих волн на основе модульного принципа построения аппаратуры. В свое время такой подход был обоснован А.В. Калининым применительно к разработке электроискрового источника для морских сейсмоакустических исследований. Применительно к разработке групповых пневматических источников модульный принцип построения аппаратуры предполагает создание такого комплекса технических средств, который при минимальном номенклатурном разнообразии применяемых устройств обеспечил бы максимальное разнообразие характеристик, необходимое для решения широкого спектра задач в различных сейсмогеологических условиях.

При блочном исполнении компрессорной станции и системы управления такая задача сводится, в сущности, к созданию на основе ряда однотипных излучателей («Bolt», «Sleeve Gun», «G.Gun», «Пульс», «Малыш» или других) нескольких универсальных линейных подгрупп с разными суммарными объемами, имеющих высокую надежность и хорошие акустические показатели.

Объёмы камер излучателей в линейной подгруппе, их количество, база группирования и глубина погружения при этом выбираются таким образом, чтобы при одновременном срабатывании группы первые пики давления сигналов отдельных излучателей суммировались синфазно, в то время как повторные удары (с учётом отражения от поверхности «водавоздух») складывались в противофазе.

В монографии [1] рассмотрены разные методы синтеза синхронных неоднородных пневматических групп, предполагающие получение суммарного сигнала с гашением пульсаций. Один из наиболее простых методов состоит в следующем.

Линейная подгруппа создается из нескольких кластеров, расстояния между которыми выбираются такими, чтобы их взаимное акустическое влияние отсутствовало или было минимальным. При этом расстояние между соседними излучателями в каждом кластере выбирается так, чтобы их воздушные пузыри при выхлопе сливались в единый объем. Период пульсации сигнала, излучаемого кластером, примерно такой же, как и одиночного излучателя суммарного объема, однако амплитудные характеристики значительно лучше: амплитуда первого пика суммарного сигнала кластера существенно выше и почти равна сумме амплитуд сигналов отдельных излучателей. Амплитуда второго пика (т.е. пульсации) при этом значительно ниже, чем у одиночного излучателя суммарного объема.

Объемы рабочих камер излучателей (кластеров) $V_i$ выбираются таким образом, чтобы все пульсации (вторые пики) не складывались синфазно, а образовывали последовательность импульсов с приблизительно постоянной разностью периодов пульсаций на величину $\Delta T$ – рис.3 (б). Значение $\Delta T$ при этом выбирается так, чтобы отражение повторного пика (*i-1*)-го сигнала от поверхности «вода-воздух» совпадало по времени с повторным пиком *i-го* сигнала и обеспечивало его гашение. При этом значение $\Delta T$ должно быть равно времени пробега волны от излучателя до поверхности «вода-воздух» и обратно: $\Delta T = 2h/c$, где $h$ – глубина погружения излучателя, $c$ – скорость распространения упругих волн в воде $c = 1500$ *м/с.*

В соответствии с известной формулой Релея-Виллиса [1–3, 9–10] при фиксированном рабочем давлении сжатого воздуха и одинаковой глубине погружения излучателей периоды пульсации сигналов $T_i$ и объемы рабочих камер $V_i$ связаны соотношением:

$$T_i = k V_i^{1/3}, \qquad (1)$$

где $k$ – коэффициент, зависящий от конструкции излучателя; при этом

$$T_{i+1} = T_i + \Delta T. \qquad (2)$$

Подставив в *(2)* выражение *(1)* для периода пульсации $T_i$, после небольших преобразований получим рекуррентную формулу для расчета объемов рабочих камер пневматических излучателей (кластеров) в линейной подгруппе:

$$V_i = V_1[1+2h(i-1)/(cT_1)]^3, \quad i=2,\ldots,n \quad (3)$$

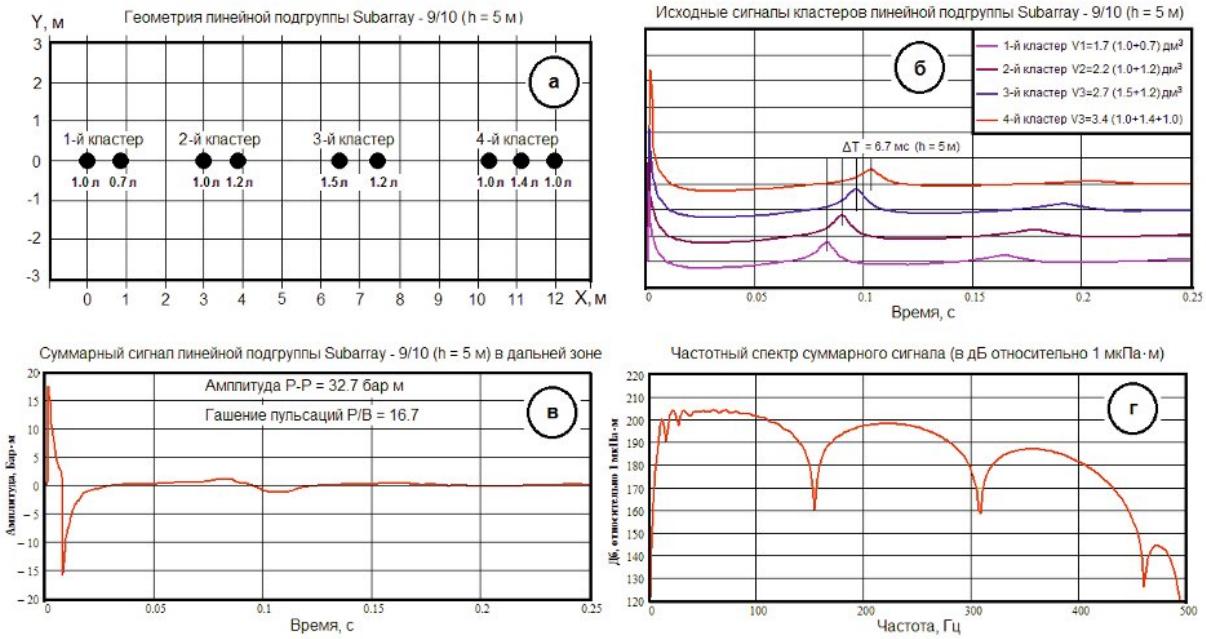
где $V_1$ и $T_1$ – объем рабочей камеры и период пульсации сигнала 1-го излучателя линейной подгруппы, имеющего минимальный объем, $n$ – количество кластеров в линии. Окончательная настройка конфигурации может быть выполнена после экспериментального исследования акустических характеристик группы.

В качестве примера на рис.3 приведены результаты расчета конфигурации линейной подгруппы из 4-х кластеров (9 излучателей) с суммарным объемом 10 дм$^3$, расположенных на базе 12 м. Расчет сигналов кластеров, суммарного сигнала линейной группы и его амплитудного спектра выполнен в среде MathCAD на основе алгоритмов, аналогичных реализованным в известном пакете «Gundalf™» [10].

Использование пневматических групп с большим суммарным объемом возможно лишь на специализированных геофизических судах, оснащенных как сложным такелажным оборудованием, необходимым для спускоподъемных операций и для буксировки больших пневматических групп, так и более совершенным и мощным компрессорным оборудованием и соответствующими системами контроля и управления.

Тем не менее, использование больших неоднородных групп оправдано, так как наряду с формированием простых по форме и коротких по длительности сигналов с широкополосным спектром, позволяет также значительно увеличить амплитуду и энергию излучения и тем самым существенно повысить помехоустойчивость и глубинность морских сейсмических исследований.

Другим важным обстоятельством является и то, что большие группы, как правило, располагаются на базе, размеры которой соизмеримы с длиной волны, что позволяет использовать такие группы и в качестве направленных интерференционных систем. При синхронном срабатывании такие линейные или площадные группы имеют характеристику направленности с максимумом в вертикальном направлении. Вводя временные задержки в моменты срабатывания соседних излучателей или соседних подгрупп, можно реализовать интерференционную систему с регулируемой




▶ *Рис. 3. Результаты расчета конфигурации линейной подгруппы Subarray (N = 9, $V_{\Sigma}$ = 10 дм³, h = 5 м): (а) – геометрия подгруппы; (б) – сигналы отдельных кластеров в ближней зоне; (в) – суммарный сигнал линейной подгруппы в дальней зоне; (г) – модуль частотного спектра этого сигнала.*

характеристикой направленности, которая на стадии возбуждения обеспечит формирование волн с заданными кажущимися скоростями.

Такая интерференционная система может быть создана простым объединением идентичных линейных подгрупп в соответствующую площадную систему. За счет такого объединения амплитуда суммарного сигнала в направлении акустической оси группы $\alpha_0$ возрастает приблизительно пропорционально количеству объединяемых подгрупп *K*, а плотность потока акустической энергии – пропорционально $K^2$. Наряду с изменением амплитудных и энергетических показателей при этом происходит существенное изменение и свойств направленности группы.

В качестве примера на рис. 4, а и б приведены модули обобщенных интерференционных характеристик, соответственно, в продольной (XOZ) и поперечной (YOZ) плоскостях линейной подгруппы Subarray-9/10 при глубине погружения *h = 5 м*, рассчитанные при $\alpha_0 = 0°$ (синхронное срабатывание). Конфигурация линейной группы Subarray-9/10 приведена на рис.3 (а).

Как видно из рис. 3 (в) одна такая линейная подгруппа имеет неплохие акустические показатели: расчетная амплитуда сигнала P-P составляет 32.7 бар·м, степень гашения пульсаций P/B – 16.7, однако, как следует из рис.4, при базе группирования D = 12 м характеризуется сравнительно невысокой направленностью даже в продольной плоскости XOZ (β = 0). В поперечной плоскости YOZ (β = 90) направленность любой одной линейной группы соответствует направленности точечного источника.

Для сжатия характеристики направленности группы в плоскости YOZ применяется поперечное группирование линий, т.е. объединение их в одну площадную группу. Так, на рис. 4, в и г приведены обобщенные характеристики в плоскости YOZ двух площадных групп, состоящих, соответственно, из двух и четырех идентичных линейных подгрупп (Subarray-9/10, h = 5 м), буксируемых

параллельно с разносом между линиями *ΔY = 6,0 м*. Из сопоставления рис. 4, б, в и г видно, что при этом происходит весьма эффективное поперечное сжатие характеристики направленности площадной группы. Однако в продольной плоскости XOZ характеристики направленности всех этих вариантов групп по-прежнему имеют вид, представленный на рис. 4 (а).

Совершенно очевидно, что в продольной плоскости XOZ дальнейшее сжатие основного лепестка характеристики также может быть достигнуто увеличением продольной базы группирования D. Однако, учитывая то, что длина каждой линии конструктивно является фиксированной и определяется длиной эстакады на палубе судна, на которой размещаются все линейные подгруппы в транспортном положении, увеличение продольной базы группы чаще всего может осуществляться только за счет продольного разноса X между подгруппами.

В качестве такого примера на рис. 5 показана серия характеристик и диаграмм направленности в плоскости XOZ, рассчитанных для одной (а), двух (б) и четырех подгрупп (в) Subarray-9/10, при глубине погружения h = 5 м, $\alpha_0$ = 0° и величине продольного разноса между подгруппами *ΔX = 15 м*.

Из представленных на рис.5 характеристик видно, что основной лепесток диаграмм направленности, сформированный в вертикальном направлении, с увеличением разноса *ΔX* заметно сужается.

Таким образом, выбирая соответствующие продольные и поперечные разносы между подгруппами *ΔX* и *ΔY*, а также задавая для каждой подгруппы с помощью задержек $\{\Delta t_i\}$ определенный закон срабатывания излучателей, можно достаточно эффективно концентриро-

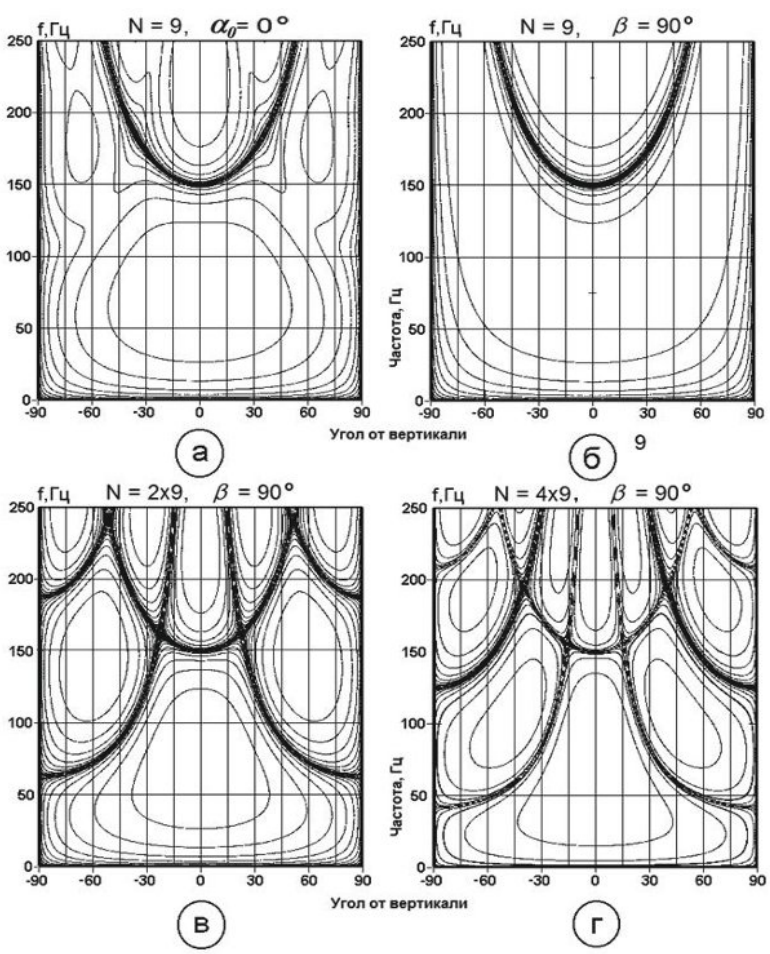



*Рис. 4. Модули обобщенных характеристик линейной пневматической группы при h = 5 м: а - характеристика в плоскости XOZ, одна линия Subarray-9/10; б - характеристика в плоскости YOZ, одна линия; в – характеристика в плоскости YOZ, две линии Subarray-9/10 параллельно с поперечным разносом ΔY = 6 м; г – характеристика в плоскости YOZ, четыре линии параллельно с поперечным разносом между линиями ΔY = 6 м*

вать излучаемую энергию в любом направлении нижнего полупространства в пределах любого заданного телесного угла.

Вместе с тем практика показывает, что сжатие характеристики направленности группы в продольной плоскости XOZ должно быть ограничено определенными пределами. Так, для последующей обработки информации по алгоритмам ОГТ желательно, чтобы целевые отражения на сейсмограммах были выдержаны по форме и амплитуде по всей длине годографа. Это позволяет получить максимальный эффект при последующем суммировании трасс.

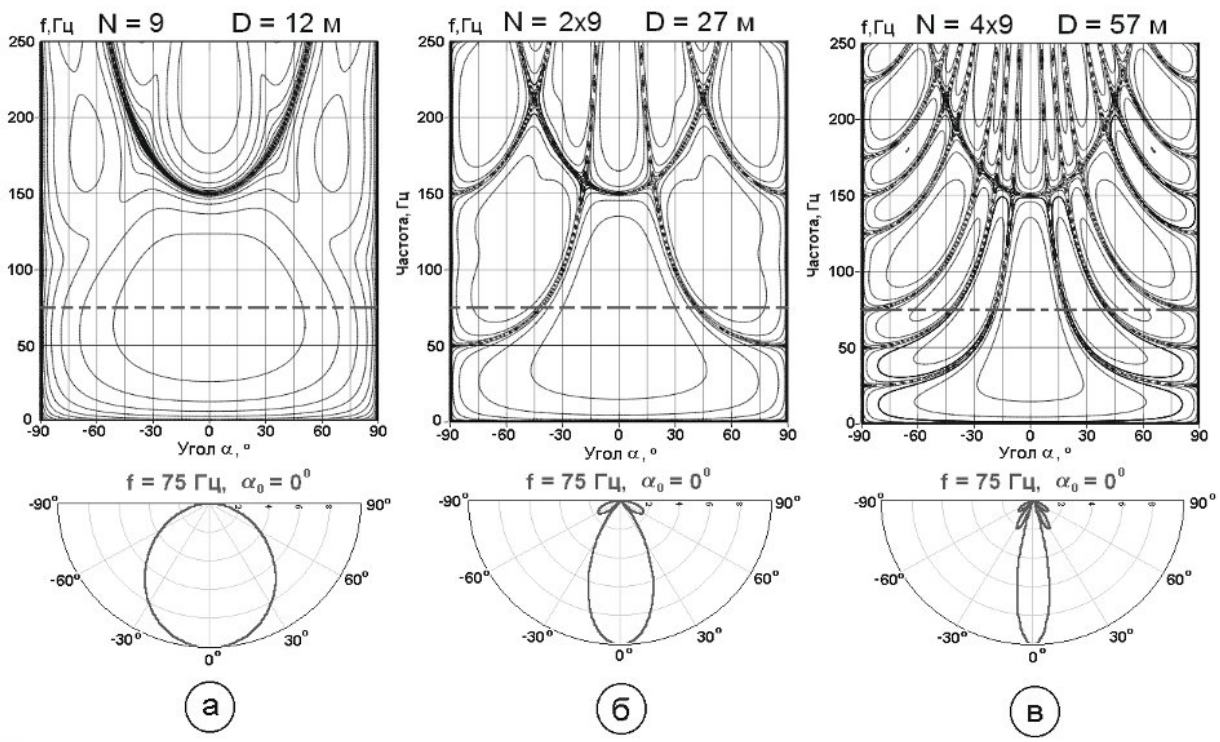
Как следует из рис. 6, для этого необходимо, чтобы при группировании излучателей основной лепесток характеристики направленности был сформирован в направлении $\alpha_0$, а ширина этого лепестка по уровню 0,707 определялась углами $\alpha_{min}$ и $\alpha_{max}$, соответствующими выходу сейсмических лучей на концевые точки $X_{min}$ и $X_{max}$ флангового приемного устройства.

В зависимости от длины приемного устройства L и глубины отражающей границы H, значения $\alpha_0$, $\alpha_{min}$ и $\alpha_{max}$ в первом приближении могут быть представлены следующими очевидными выражениями:

$$\alpha_{\min} = arctg\left(\frac{X_{\min}}{2H}\right); \quad \alpha_0 = arctg\left(\frac{X_{cp}}{2H}\right);$$

$$\alpha_{\max} = arctg\left(\frac{X_{\max}}{2H}\right). \qquad (4)$$

На рис. 7 приведены зависимости $\alpha_0(H)$, $\alpha_{min}(H)$ и $\alpha_{max}(H)$, рассчитанные для приемных устройств разной длины и позволяющие приблизительно оценить необходимую ширину основного лепестка характеристики направленности пневматической группы в продольной плоскости XOZ.



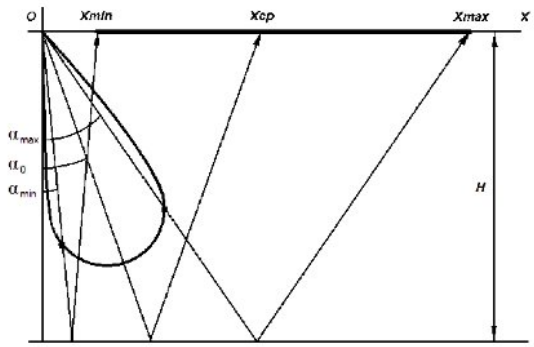

▲ *Рис. 5. Модули обобщенных характеристик в плоскости XOZ и диаграммы направленности на частоте f0 = 75 Гц линейной пневматической группы при h = 5 м: а - одна линия Subarray-9/10, N = 9; б - две линии Subarray-9/10 (N = 18), с продольным разносом ΔX = 15 м; в – четыре линии Subarray-9/10 (N = 36), с продольным разносом ΔX = 15 м. D – общая база группы. Угол настройки всех диаграмм $\alpha_0$= 0° (синхронное срабатывание излучателей)*

Более точно, с учетом скоростей упругих волн в среде и сложных траекторий лучей, значения $\alpha_0$, $\alpha_{min}$ и $\alpha_{max}$ могут быть определены, например, с помощью пакета программ «ВОЛНА-М» для моделирования сейсмических волновых полей, специально разработанного для корректного решения подобных задач [5]. Как видно из результатов моделирования лучевых диаграмм, интервал углов $\alpha_{min} - \alpha_{max}$, ограничивающих пределы лучевой трубки в продольной плоскости XOZ, выходящей на приемную расстановку, может существенно зависеть от скоростной дифференциации разреза – рис.8. Из сопоставления рис. 8 (а) и рис. 8 (б), например, следует, что для изучения границ, залегающих под высокоскоростным слоем, излучаемую источником энергию необходимо сконцентрировать в более узком интервале углов $\alpha_{min} - \alpha_{max}$, что потребует увеличения базы группы D в продольной плоскости XOZ.

Заключение

В настоящей работе кратко рассмотрены основные принципы построения групповых пневматических источников для морской сейсморазведки. Показано, что наиболее важными факторами, определяющими выбор параметров источников и конкретной технологии исследований, являются характер геологических задач и сейсмогеологические условия, зависящие, прежде всего, от глубины моря в районе работ.

Описан простой метод расчета конфигурации линейных подгрупп с гашением пульсаций, а также рассмотрены примеры построения на их основе линейных и площадных групп с выраженными свойствами направленности. Для более точного и обоснованного выбора методики сейсморазведочных работ, в том числе параметров группирования пневматических источников, рекомендуется пользоваться современными программными средствами, предназначенными




▲ *Рис. 6. Выбор ширины лепестка диаграммы направленности группы: $X_{min}$ – вынос приемного устройства; $X_{max}$ – координата дальнего конца приемного устройства: $X_{max} = X_{min} + L$; $L$ – длина приемного устройства; $X_{cp} = X_{min} + L/2$ – средняя точка косы; $H$ – глубина отражающей границы*

для моделирования сейсмических волновых полей и расчета характеристик любых линейных и площадных интерференционных систем на основе пневматических излучателей.

Список литературы

1. Гуленко В.И. Пневматические источники упругих волн для морской сейсморазведки: Монография. – Краснодар: КубГУ. 2003, – 313 с.

2. Гуленко В. И., Бадиков Н.В. Акустические характеристики пневматических излучателей «Пульс-5» и различных вариантов линейных групп на их основе // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2001. №1. С.23-32.

3. Гуленко В. И., Карпенко В. Д., Шлыков В.А. Теоретическое и экспериментальное исследование пневматических излучателей для морской сейсморазведки // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2002. №3. С.50-58.

4. Гуленко В.И., Шумский Б.В. Технология морской сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне: Монография. – Краснодар: КубГУ. 2007, – 111 с.

5. Гуленко В.И., Гонтаренко И.А. Разработка программных средств для экспресс моделирования сейсмических волновых полей // В сборнике «Георесурсы», Изд-во Казанского госуниверситета, №1(43), 2012 г. С. 15 – 18.

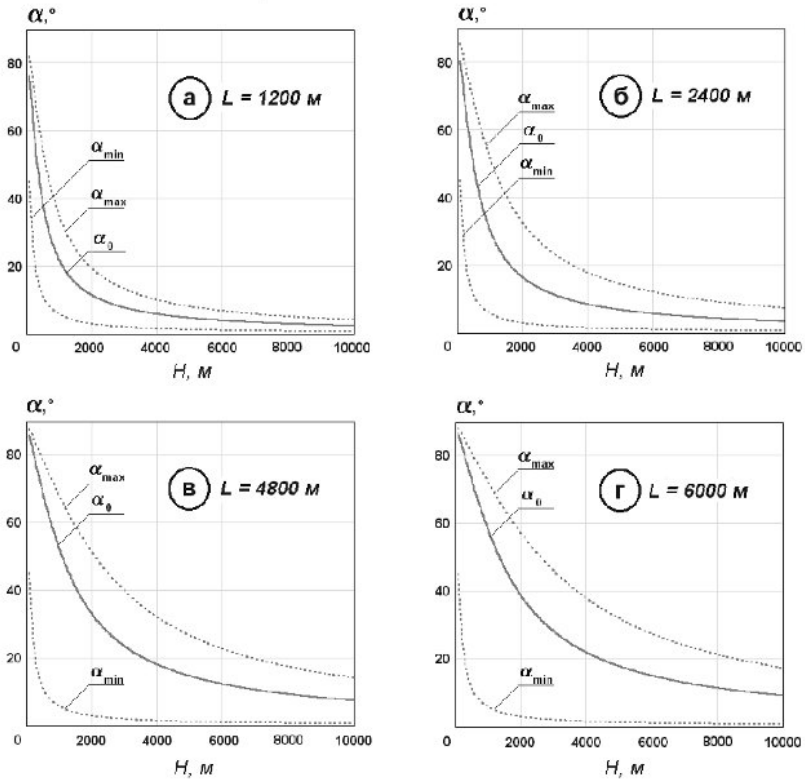



*Рис. 7. Зависимости $\alpha_0(H)$, $\alpha_{min}(H)$ и $\alpha_{max}(H)$, рассчитанные для приемных устройств разной длины:*
*а – L = 1200 м;*
*б – L = 2400 м;*
*в – L = 4800 м;*
*г – L = 6000 м*

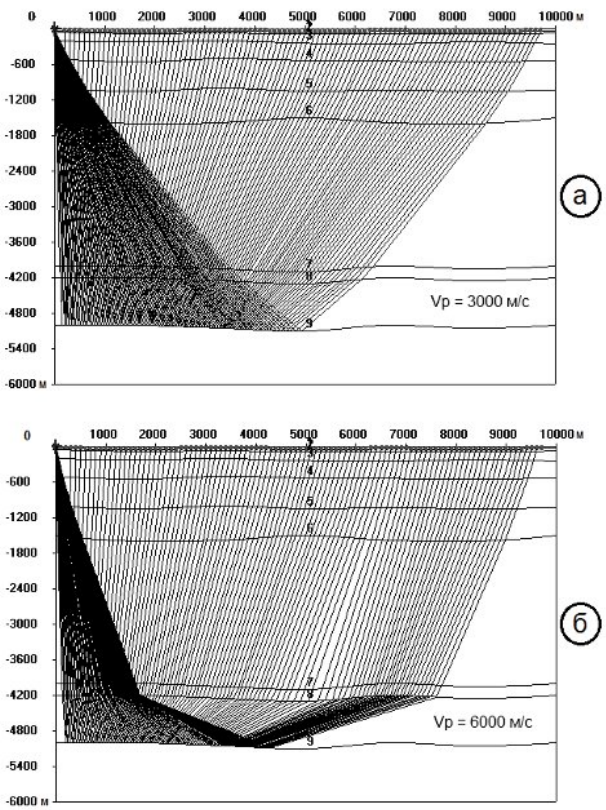



*Рис.8. Лучевые диаграммы отраженных волн, полученные для двух модельных разрезов, отличающихся значениями скорости Vp в девятом слое*

6. Гуленко В.И., Рудаков А.В. Технология сейсморазведочных работ 3D в акватории Печорского моря // Геоинжиниринг, 2013. №2(18), С.68-71.

7. Самсонов Е.А. Сравнительная характеристика высокоразрешающей сейсморазведки (ВРС) и ультра-ВРС при инженерных изысканиях на акваториях //Сб. материалов 39 сессии Международного научного семинара им. Успенского. Воронеж 30 января – 02 февраля 2012 г. – С.246.

8. Мелководное сейсмическое судно НИС «Искатель-5»: Материалы ОАО «Севморнефтегеофизика» – http://www.smngeophysics.com/i/iskatel5-rus.pdf.

9. Johnston R.C., Reed D.H., Desler J.F. Special report on the SEG Technical Standards Committee: SEG Standard specifying marine seismic energy sources // Geophysics 1988. Vol. 53. № 4, p.p.566 – 575.

10. Hatton L. «Gundalf™ – an airgun array modelling package» –http://www.gundalf.com

11. L. Hatton. The broadband acoustic output of marine seismic airgun sources // Proceedings of the Institute of Acoustics, Underwater Noise, 2008, Southampton, England. 2008.

# Calypso

## Донная коса нового поколения

### Достигая новых глубин донной сейсморазведки

Такое же непревзойденное качество изображений.
Глубина вдвое больше. Эффективность вдвое выше.

ION представляет систему Calypso™, созданную на основе донной телеметрической косы нового поколения для построения полноволновых изображений при плотном шаге квантования при глубине воды от 5 до 2 000 м. Система Calypso регистрирует данные в широком диапазоне частот, помогая осваивать новые площади, исследовать разрезы со сложным геологическим строением и принимать верные решения при разработке месторождений, сохраняя низкую себестоимость работ. Узнайте больше на iongeo.ru/calypso.

НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Нетипичные коллекторы

→ **Регионы с суровыми климатическими условиями**

Разрезы со сложным геологическим строением

Изучение осадочных бассейнов

→ **Эксплуатация месторождений**

ion | MARINE IMAGING SYSTEMS

# О позиционировании пунктов приема и возбуждения при проведении транзитных сейсморазведочных работ с донным оборудованием

Горбачев С.В., Маев П.А., Егоров А.А,. ООО «ЛАРГЕО НефтеГазСервис», г. Москва

*Основным поводом для написания данной заметки явилась статья «К вопросу позиционирования пунктов наблюдения в сейсморазведке 3D, выполняемой в транзитных зонах»в 4 номере журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» за 2012 год авторов Захарова Н.В., Шумского Б.В. и Рудакова А.В. из Компании ГНЦ ЮГУГП «Южморгеология». В своей работе они подняли очень важную тему точности позиционирования пунктов наблюдения (приема и возбуждения) при проведении сейсморазведочных работ 3D в транзитных зонах.Результаты и выводы, предложенные в статье [1], являются дискуссионными. В данной заметке мы хотели бы отразить свое видение и понимание рассматриваемого вопроса, а также высказать критические замечания к методологии позиционирования, предлагаемой ГНП ЮГУГП «Южморгеология».*

В начале,рассмотрим вопрос технологии работ в транзитных зонах с использованием донного оборудования. Стандартная технология состоит из нескольких этапов:

Этап 1 – Тестирование и проверка работоспособности оборудования, навигации и т.д.

Этап 2 – Раскладка донного оборудования по намеченным профилям (линиям). Эта процедура осуществляется путем спуска оборудования на дно с движущегося судна. Точность раскладки оборудования зависит от разных факторов: глубины моря, массы оборудования (кроме собственной массы часто используют дополнительные грузы для утяжеления оборудования), силы и направления течения, метеоусловий (ветра, волнения моря), опытности судоводителей и т.д. Для проверки установленных требований по позиционированию пунктов приема используются акустические модули, располагаемые через определённые интервалы на линиях регистрирующего оборудования (косах), или же вмонтированные в донные станции/косы.

Этап 3 – Акустическое позиционирование (или, в простонародье, «пингирование»), которое заключается в следующем: судно, на котором установлена специальная система, проходит по каждому профилю приема и определяет координаты акустических модулей, лежащих на дне. Далее полученные координаты интерполируются, так как акустические модули чаще всего стоят не на каждом канале, а с определенным шагом, обычно больше шага ПП (на данном проекте шаг ПП - 50 м, расстояние между акустическими модулями - 300 м), после чего определяются отклонения положения пунктов приема от заданных в проекте. Если количество каналов с отклонениями превышает допустимое Техническими условиями, линия пунктов приема перекладывается, или же готовится обоснование, по каким причинам эта линия не может быть разложена в пределах допусков (например, очень сильные течения и т.п.).Это обоснование протоколируется специалистами Подрядчика и представителями Заказчика, после чего происходит переход к следующему этапу.

Этап 4 – Отработка («Отстрел») разложенной расстановки. На этом этапе судно с групповым пневмоисточником (ПИ) производит возбуждение сейсмического сигнала в заданных точках путем прохода по заранее запроектированной линии с

определенной скоростью. Так как ПИ буксируется за судном на определенном расстоянии (не менее 10-15 м, а в некоторых случаях и до 50 м), в каждый момент времени у судна есть точные координаты своего местоположения, получаемые по GPS. Далее с помощью поправок рассчитываются теоретические координаты ПИ, без учета возможного смещения под влиянием течений. Для получения точных координат ПИ используют специальную GPS антенну, закрепленную на буе, установленном в начале или центре группы ПИ.

Этап 5 – Сбор приемной расстановки после завершения «отстрела» активной расстановки:суда-раскладчики (они же сборщики) проходят по ЛПП и собирают оборудование. При этом, если расположить на их борту акустические антенны, можно определить координаты пунктов приема после «отстрела». То есть зафиксировать факт смещения оборудования, если такое происходило в процессе его нахождения на дне.

Далее все этапы повторяются заново в той же последовательности.

Теперь перейдем непосредственно к требованиямточности позиционирования положений пунктов приема и возбуждения на примере проекта, рассмотренного в статье [1]. Как написано в вышеупомянутой статье, Техническим заданием были установлены следующие критерии допусков по смещениям:

- для ПП – 6 м вдоль ЛПП и 12 м – поперек, при шаге ПП – 50 м;

- для ПВ – 1 м вдоль ЛПП и 10 м – поперек, при шаге ПВ – 25 м.

При этом, с учетом сложности выполнения работ на акваториях, установлены «смягчающие» требования по смещению ПП и ПВ: допустимы отклонения вдвое превышающие заданные, в объеме не более 2% от общего числа пунктов приема или возбуждения и не более 5 пунктов подряд по профилю.

В [1] отмечается, что при составлении этих допусков руководствовались требованиями наземной сейсморазведки, однако в наземной сейсморазведке существуют более строгие требования по смещениям ПП и ПВ, а также по точности определения их координат.

Требования по точности определения координат ПП и ПВ: не менее 0.2 м. То есть в наземной сейсморазведке координаты ПП и ПВ должны быть известны с очень большой точностью. Возможны смещения от проектного положения, но только в пределах половины размера бина, при этом координаты пунктов возбуждения и приёма точно фиксируются. В случае больших смещений (например, наличия эксклюзивных зон) каждый случай рассматривается отдельно, и смещение делается с учётом геометрии расстановки на расстояние кратное интервалу ПП или ПВ. Таким образом, пределом допустимого смещения является половина размера бина (преимущественно 12.5 метров), при четком фиксировании координат, а дальнейшие смещения должны анализироваться на предмет падения кратности и отдельно оговариваться.

Получается, что для наземных работ есть четкие требования по определению координат и смещению, а для работ на акватории есть только некий коридор, в который надо попасть при спуске оборудования и отстреле. Этот коридор выбирается для того, чтобы при смещении ПП и ПВ не происходило сильного снижения номинальной кратности и не возникали большие «дырки» в подборках равных удалений.

При работе на спокойной воде с низкой скоростью течений приведённые требования легко выполнить при наличии отработанной технологии и опытного персонала. Чаще всего течения имеют определенные характеристики (периодичность, скорость, направление и т.д.),

которые необходимо учитывать в процессе раскладки и отработки путем введения поправок в проектный курс движения. При этом необходимо принимать во внимание человеческий фактор – в вопросе ввода поправок и судовождения. Смещение ПВ от намеченных допусков можно зафиксировать в процессе отстрела и оперативно корректировать, так как в центре группы ПИ установлена GPS-антенна. С раскладкой ПП все намного сложнее и неоднозначнее, так как в процессе спуска оборудования фиксируется точка сброса, а положение на дне может существенно отличаться от точки сброса, даже с учетом рассчитанных заранее поправок за течения (снос). Для проверки положения оборудования на дне как раз и используют акустическое позиционирование (пингирование).

При отсутствии пингирования невозможно определить, правильно ли разложено оборудование на дне. Допустим, что в процессе работ не используется система акустического позиционирования. Например, правильно рассчитанная поправка «за течение» была введена с обратным знаком. Поправку в 15 м ввели ошибочно, и вместо смещения на север получилось двойное смещение на юг 30 м плюс простые погрешности установки, заложенные в допуски (возьмем от них половину – 6 м). Итого имеем смещение ЛПП на 36 м в поперечном направлении. Хотелось бы заметить, что об этом не известно в сейсмопартии, так как позиционирование не проводится, и истинные координаты ПП остаются неизвестными вплоть до поступления данных на полевой контроль качества. Происходит отстрел, занимающий до нескольких десятков часов. Следует учитывать, что отстрел может быть приостановлен из-за неблагоприятных погодных условий (шторма, например), а потом продолжен. В процессе отстрела лежащее на дне оборудование может сместиться, как например, на рисунке 1 (проектное положение ПП и пропингированное после шторма), но о смещении не известно, так как не было пингирования ни после раскладки, ни после шторма. Итого с момента раскладки с ошибками (вне допусков) и шторма прошло несколько суток, оборудование уже начали поднимать, а данные только поступили на полевой вычислительный центр для проверки геометрии и других процедур контроля качества. Происходит ввод данных в специализированные программные комплексы, загружается геометрия, полученная после обработки навигационных данных, и при наложении теоретического годографа на первые вступления обнаруживается несоответствие.

Далее, конечно, идет запрос навигаторам о правильности их данных. Таким образом, одна ошибка найдена, смещение 15 м введено не туда, то есть вместо допустимого смещения в 12 м, имеются смещение в 36 м. При этом много времени потеряно на неправильную раскладку, отстрел и ввод данных. Кроме того, начата перекладка оборудования на следующий участок.

После обнаружения ошибок нужно принять решение - продолжать дальше работы на новом участке, приняв эти данные, или же переложить оборудование на прежнее место и заново провести отстрел. Фактически это решение ложится на представителей Заказчика–супервайзеров. Если следовать Техническим требованиям проекта, то необходимо переложить и “перестрелять” расстановку.

При этом всегда есть риск того, что новое положение ПП будет также вне допусков, так как без акустического позиционирования невозможен оперативный контроль координат. Возможно и ухудшение погоды, что не даст нормально разложить оборудование.

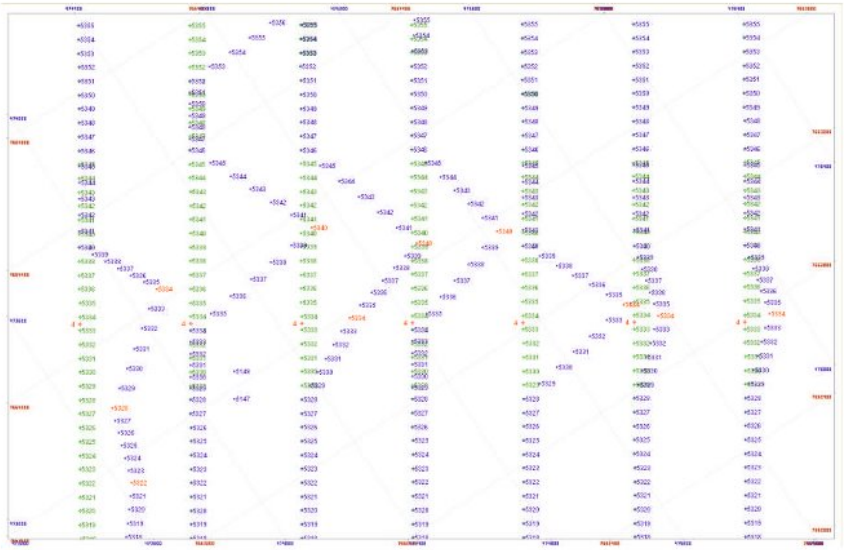


*Рис. 1. Проектное положение пунктов приема (зеленый цвет) и фактическое (синий), определенное по результатам акустического позиционирования*

Поэтому отказ от использования акустического позиционирования не совсем обоснован.

При выявлении смещений вне допуска геофизикам полевой партии необходимо выполнять анализ, к чему привело такое смещение ПП и ПВ, с точки зрения распределения номинальной кратности, кратности по удалениям и азимутам, а результаты предоставлять представителям Заказчика-супервайзерам и вместе с ними принимать решение о продолжении работ или же “перестреле”.

Конечно, можно пользоваться методикой определения и корректировки координат по первым вступлениям, но, как будет показано далее, это – сложная и не всегда однозначно решаемая задача, требующая значительных временных затрат и сильно зависящая от качества данных и опыта геофизика-обработчика.

Рассмотрим подробнее возможности определения положения оборудования по акустическому позиционированию и первым вступлениям.

Точность по акустическому позиционированию:

Заявленная точность системы акустического позиционирования, например,Sonardyne - 1-2 метра в плане, при рабочих частотах – 35-55 кГц.

Точность по первым вступлениям:

Методика определения положения ПП и ПВ по первым вступлениямизвестна очень давно, этот подход реализован практически во всех обрабатывающих комплексах. Он применяется в тех случаях, когда есть сомнения в точности координат положения ПП и ПВ при «офисной» обработке, так как нельзя уже проверить координаты, выехав в поле. Фактически это инструмент, уменьшающий возможные ошибки и недочеты в геодезии и навигациипри полевых работах.

Расчёт точности определения координат по первым вступлениям – весьма неоднозначный вопрос. В литературе называются разные цифры по точности этого метода, наиболее конкретно описано в работе Wilson[3]. По данным этой статьи, точность позиционирования может сильно варьироваться. Для съёмок с донным оборудованием называется цифра в 1.5-2 метра, для наземной съёмки – от 2 до 5 метров, для наземной съёмки с ярко выраженным рельефом - до 10 метров.Несмотря на довольно высокую точность, приведённую в данном источнике, автор замечает, что результат зависит от используемого программного пакета и качества данных, а также упоминает, что не всё программное обеспечение работает достаточно

стабильно в определении координат ПП или ПВ. К тому же, в каждой из 15-ти исследованных в работе съёмок от 1 до 5% ПП и ПВ в итоге имели погрешность позиционирования более 10 метров.

В целом, технология определения координат по первым вступлениям состоит в следующем:

1. Загрузка данных;
2. Предобработка данных (подбираются процедуры позволяющие максимально выделить необходимые сигналы для пикирования);
3. Подбор параметров автоматической пикировки;
4. Пикировка данных;
5. Отбраковка ошибок пиков;
6. Расчет координат;
7. Проверка адекватности результата.

Заметим, что при определении координат по первым вступлениям есть множество факторов, определяющих точность метода:

А) качество данных (соотношение сигнал/шум, прослеживаемость первых вступлений и все факторы, которые на это влияют);

Б) человеческий фактор (опытность геофизика-обработчика);

В) алгоритм расчёта.

При расчёте координат необходимо знать и учитывать особенности алгоритма используемом в программном обеспечении (например, стоит ли включать в расчёт пикировки преломленной волны). Для исключения преломлённой волны и для сокращения времени пикировки (как будет показано далее, имеет место сильно переопределённая система уравнений) используется ограничение по удалениям.

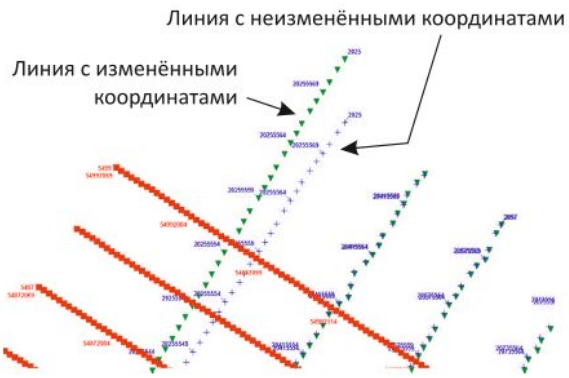
Для определения корректности работы различных программных продуктов нами был выполнен большой ряд экспериментов с 2D и 3D данными, как реальными, так и модельными (синтетическими).

Рассмотрим один из экспериментов:

В программный пакет были загружены полевые данные с того же участка, что и в работе [1]. В координаты приемников одной из линий были внесены линейные изменения в соответствии с таблицей 1. Таким образом, в данной линии отклонение ПП от проектного положения (помимо того, которое,возможно,уже было в данных) плавно изменяется от 0 до 200 метров (рис.2).

▼ *Табл. 1. Изменение координат ПП в ходе эксперимента.*

| Порядковый номер ПП в линии | Величина изменения координат, м. |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 2 | 2 |
| 3 | 4 |
| 4 | 6 |
| ... | ... |




▲ *Рис. 2. Расположение ПП и ПВ в эксперименте с изменением координат приемной линии.*

Выполним проверку и коррекцию положений ПП по первым вступлениям, чтобы рассчитать истинные координаты ПП. Существует несколько вариантов работы с данными:

1) Полностью автоматическая пикировка.

2) Ручная пикировка.

3) Комбинированная - автоматическая с ручной коррекцией.

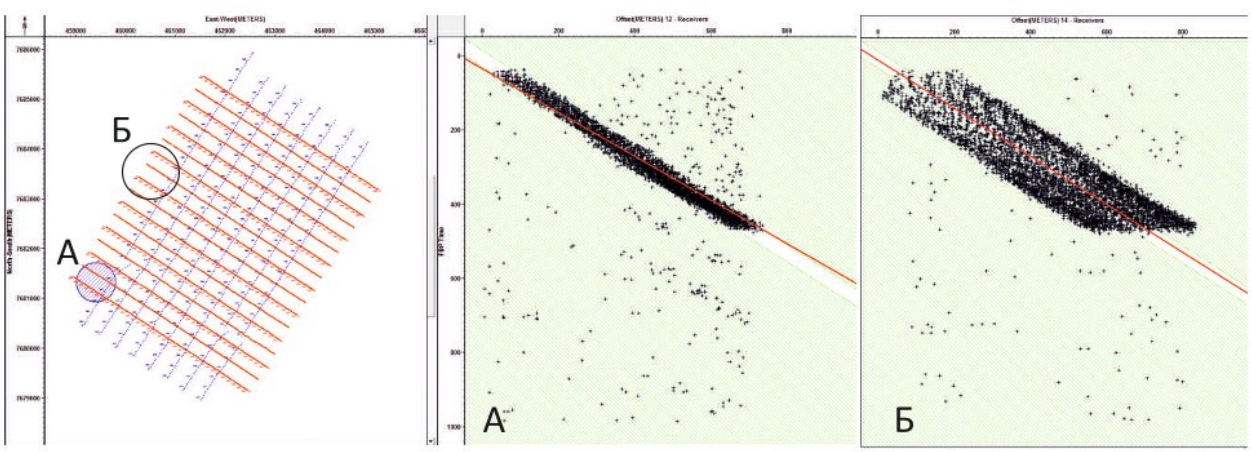
Ручная пикировка первых вступлений в таких объёмах занимает колоссальное количество времени(например, участок, приведённый на рисунке 3, имеет около120000 трасс с учётом ограничения по удалениям в 600 метров, что при пикировке трассы в секунду занимает порядка 33-34 часов), поэтому в поле для контроля положения ПП есть возможность только автоматической пикировки.На тестовых полевых данных эксперимента была произведена автоматическая пикировка первых вступлений в ограниченном диапазоне удалений. Это было сделано для иллюстации следущей проблемы: для того, чтобы отбросить вылетевшие пикировки, можно задать полосовое окно в осях Удаление/Время, внутри которого пикировка считается верной. Однако ширина этой полосы будет варьироваться в зависимости от предполагаемого максимального отклонения приемника от проектного положения. В случае большого отклонения в положении ПП даже правильно отпикированные данные будут отфильтрованы, как брак.Поэтому при работе с данными нужно понимание максимально возможных смещений. На рисунке 3 представлен пример выбора окна для разных отклонений ПП. Видно, что уже на этом этапе можно определить отклонение фактического положения ПП от проектного и понять, попадают ли отклонения в допуски ТЗ.

Далее был произведён расчёт геометрии по первым вступлениям с помощью комбинированного подхода к пикировке и вдумчивого подбора окон для отбраковки ошибочныхточек. Так как данные – полевые, то невозможно корректно оценить отклонения результатов расчёта координат от истинного положения. Но,даже по этим результатам, можно сделать важный вывод:

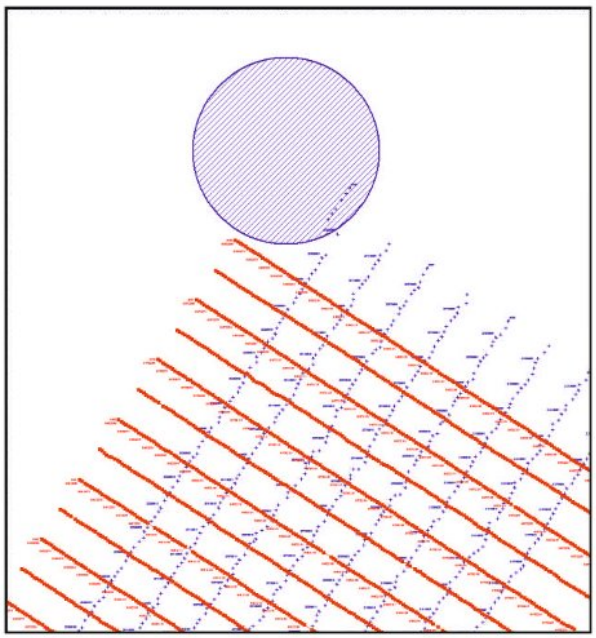
Метод работает, но для корректного егоприменения необходимо максимальное количество азимутов прихода волн к приемнику. Соответственно, если приемники находятся вне ЛПВ, как показано на рисунке 4, то невозможно правильно рассчитать их положение.

Во время работ на акваториях очень часто используют системы наблюдения с выносом ПП за ЛПВ. Стоит заметить, что смещения ПП на концах линии приёма обычно более существенны, чем в центре расстановки, а алгоритм выдает при определении их координат наибольшие ошибки.

Захаров Н. В. пишет про работу алгоритма расчета геометрии по первым вступлениям, используя термин «кратность прослеживания», то есть кратность




▲ *Рис. 3. Пример выбора различных окон при отбраковке пиков:*
*А - Смещение приемников <50м,*
*Б - Смещение приемников <120м,*



▲ *Рис. 4. Пример некорректной работы метода определения координат по первым вступлениям (край расстановки).*

ОСТ (в данном случае номинальная кратность 80), и говорит, что количество уравнений для расчета равно кратности прослеживания, но это не совсем так. Для оценки положения ПП и ПВ используются статистические данные по ПП и ПВ, то есть количество ПВ, использующих этот ПП и по аналогии количество ПП, использующих этот ПВ. Для представленной системы наблюдения один ПВ регистрируется на 960 ПП, а один ПП участвует в 5400 ПВ. Количество уравнений для расчета намного больше, чем описано в статье, и само понимание подхода не совсем правильное. Система уравнений сильно переопределена.Если провести ограничение по удалениям до 600 метров, то получится от 128 до 156 ПВ на каждый ПП и от 45 до 60 ПП на каждый ПВ.

Хотелось бы также заметить, что представленные разрезы ОСТ и выполненный по ним расчет не могут рассматриваться как пример, так как на процесс суммирования влияет много факторов: точность кинематических поправок, мьютинг, статические поправки и т.д. При оценке параметров на верхних горизонтах (500 мс), где эти факторы наиболее сильно проявляются, в результате может возникнуть ошибка, никак не связанная с геометрией. Поэтому рассматривать такой анализ некорректно.

Еще с одним моментом рассматриваемой статьи сложно согласиться -это рисунок 10 (в этой заметке он приведен как рисунок 5). Данная иллюстрация призвана показать, что интерполяция между координатами транспондеров (шаг между датчиками 300 м) на косе (при акустическом позиционировании)не может учесть подобные “петли”, а методика по первым вступлениям – может.

Разберем эту ситуацию подробнее: расстояние между датчиками донной сейсмической косы равняется 55 метрам при шаге ПП в 50 метров (дополнительные 5 метров нужны в качестве “запаса” при спуске оборудования на дно). На рисунке 5Б между двумя соседними линиями возбуждения (второй и третьей) вместо 6 пунктов приёма находится 9 ПП. Это, в свою очередь, ведёт к появлению неправдоподобно больших интервалов ПП (70-80 метров) вокруг “петли” (зелёные окружности на рисунке),поэтому такая геометрия является скорее ошибкой метода расчёта по первым вступлениям, чем его преимуществом. В используемом алгоритме нельзя задать максимально возможный шаг между каналами. В соответствии с показанным результатом координаты ПП по первым вступлениям имеют серьезную погрешность.

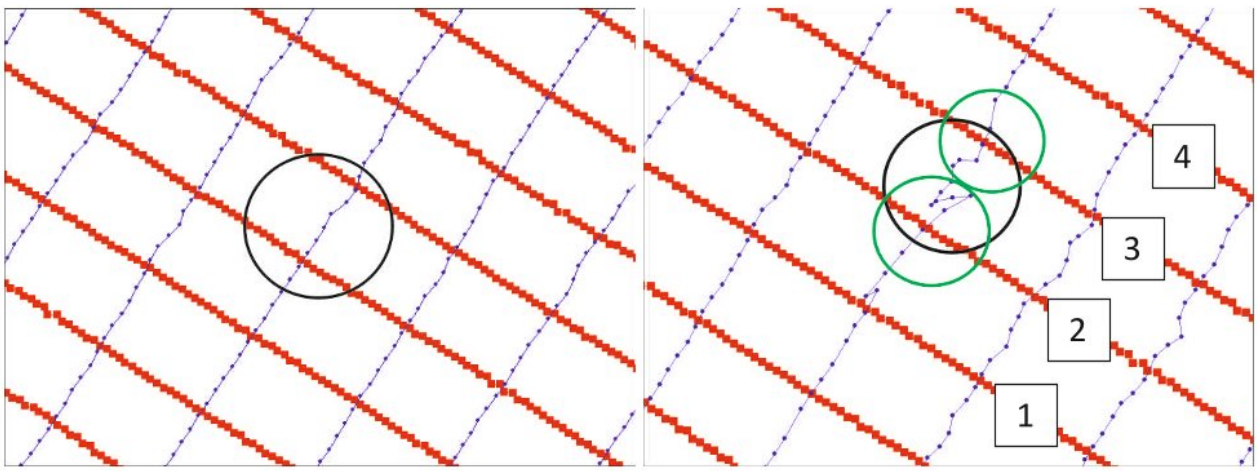
Несмотря на это, отмеченная в статье проблема интерполяции данных акустического позиционирования действительно имеет место, и при необходимости она может быть решена с помощью:

1. Установки акустических приборов с более частым шагом.

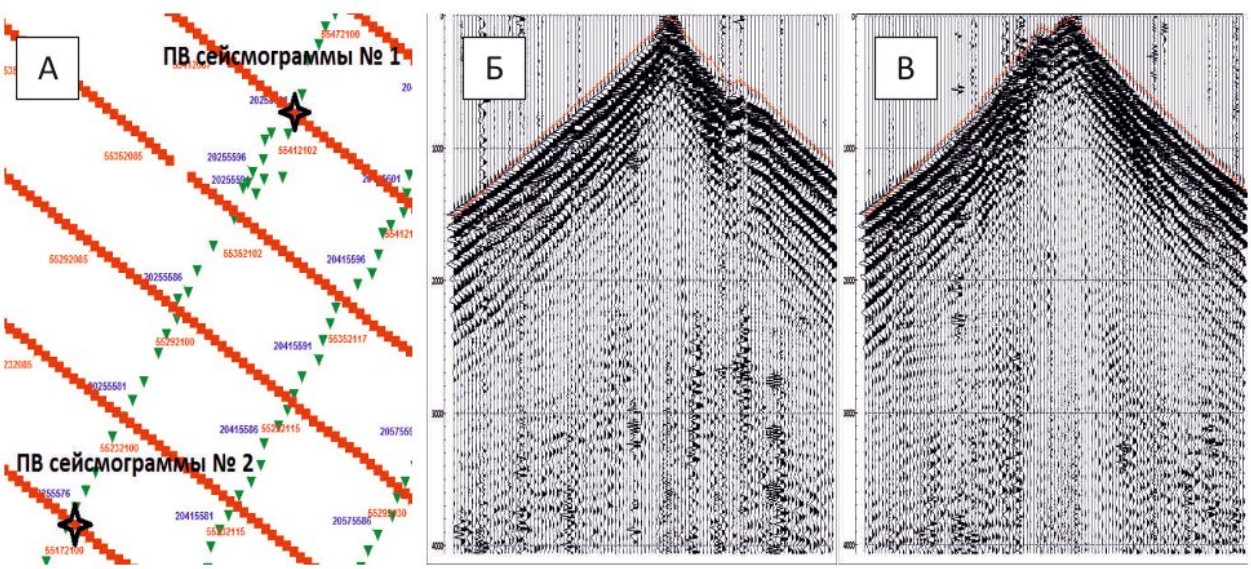
2. Комплексирования результатов пингирования, позиционирования по первым вступлениям и детального анализа данных, о чем говорится в работе[3].

1. Отказ от технологии акустического позиционирования может существенно затруднить контроль качества раскладки оборудования и, как следствие, снизить качество данных.

2. Точность определения координат по первым вступлениям сильно зависит




▲ *Рис. 5. Положение ПП (синие линии) и ПВ (красные линии) определенные по результатам акустическогопингирования (А) и по первым вступлениям (Б).*




▲ *Рис. 6. Фрагмент активной расстановки (А) и сейсмограммы с разных ПВ (А и Б).*

Заметим, что если пингирование и было проведено, то оно должно было выявить подобную проблему, а представленный результат (на рис. 5А) говорит от там, что этого не было.

Хотелось бы подвести итог всему вышесказанному:

от качества данных, применяемого программного пакета, а также от опыта геофизиков.

3. При позиционировании по первым вступлениям ошибки в определении координат ПВ ведут к ошибкам определения координат ПП.

4. Сильные неоднородности ВЧРтакже влияют на точность определения координат по первым вступлениям, поэтому при работе с данными нужно понимать этот аспект и иметь представления о возможной модели ВЧР.

5. Процесс автоматической пикировки первых вступлений достаточно тяжело настраивается, к нему необходимо правильно подготавливать данные.

6. Процесс ручной пикировки первых вступлений (результат которого обычно приводит к удовлетворительным результатам) занимает довольно большой промежуток времени,соизмеримый со временем пингирования.

7. В работе алгоритмов позиционирования по первым вступлениям не учитывается фактическая длина между ПП (кабеля), поэтому расчет необходимо вдумчиво корректировать, что также усложняет технологию работ.

8. Позиционирование по первым вступлениям на стадии «офисной» обработки помогает эффективно бороться с существенными ошибками в геометрии, но в полевых условиях полагаться на него как на панацею от ошибок как минимум некорректно.

9. Позиционирование по первым вступлениям корректнее работает с 3Dданными, при работе с 2D данными могут возникать существенные ошибки в поперечном направлении.

10. Применение пингирования давно стало мировым стандартом при проведении донных сейсмических работ. Мировой опыт показывает, что наилучший результат в позиционировании ПП достигается при комплексировании акустического позиционирования и проверки координат по первым вступлениям(ZhangHongjun и др, 2012).

11. Можно с уверенностью заявить, что точность метода определения координат по первым вступлениям, даже при использовании тщательно отбракованных пикировок, не выше точности акустического позиционирования, а в большинстве случаев – ниже.

12. В процессе полевых работ при возникновении каких-либо спорных моментов или при получении данных вне технических спецификаций необходимо корректно обосновать возможность приёмки таких данных и показать, что изменение спецификаций несущественно повлияет на качество данных.

**Литература**

1. Захаров Н.В., Шумский Б.В., Рудаков А.В. К вопросу позиционирования пунктов наблюдения в сейсморазведке 3D, выполняемой в транзитных зонах //«Приборы и системы разведочной геофизики» №4, 2012, стр.68-75.

2. Шнеерсон М.Б., Жуков А.П., Белоусов А.В. Технология и методика пространственной сейсморазведки. - М., 2009.

3. Brad Wilson “Solving Problems in Land and Transition Zone Positioning”,Exploration Consultants Limited, Inc., SEG Annual Meeting, 1998.

4. Zhang Hongjun*, Chen Haolin, Ye Yuanquan, Liujun, Liu Renwu, Liu Yuanying, Ni Chengzhou and LiXiaodong, BGP, CNPC “A method for improving the accuracy of OBC receiver location in complex shallow waters”, SEG Las Vegas 2012 Annual Meeting

5. Урупов А.К. Основы трехмерной сейсморазведки. - М., 2004.

6. Cordsen A., Galbraith M., Peirce J. Planning Land 3-D Seismic Surveys. - Society of Exploration Geophysicists, 2000.

7. Vermeer, G.J.O., 3-D seismic survey design, 2002.

8. Инструкция к VISTA - GEDCO.

ИнструкциякRENEGADE - Geophysics Seismic Studio.

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВИБРАТОРАМИ FORCE-III С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ SourceLink™

Полное решение управления виброисточниками для всех систем регистрации!

Фирма **Seismic Source, США,** разработала и предлагает геофизикам новую электронную систему управления вибраторами **FORCE-III,** отвечающую всем требованиям современной вибро-сейсморазведи.
На основе соглашения о сотрудничестве система поставляется в Россию через **ЗАО «ГЕОСВИП»,** специалисты которого прошли специальную подготовку в г. Понка-Сити, шт. Оклахома.
Первым российским предприятием, эксплуатирующим указанную систему в составе партии виброисточников СВ-20/150МТК, стало ОАО «СИБНЕФТЕГЕОФИЗИКА».
Система состоит из блоков управления (дешифраторов) - по числу вибраторов в группе - - и универсального управляющего генератора (шифратора) UE II.

**Блок управления вибратором**
· Полностью совместим со всеми типами сервогидравлических вибраторов
· Максимальная выходная мощность с минимальными искажениями
· Стабильная, отказоустойчивая система
· Автоматическая калибровка вибратора
· Двойная схема акселерометров

**Wi-Fi Ethernet система связи между вибраторами**
· Высокая скорость беспроводной связи
· Сообщения группы вибраторов
· Автоматическое определение центр тяжести группы вибраторов (COG)
· Беспроводная цифровая сверка подобия
· Загрузка пользовательских свипов

**Система GPS и временная синхронизация**
· Синхронизации по GPS -времени
· Синхронизация времени по УКВ-радио
· Сантиметровая точность GPS

**VSS – Сохранение основных сигналов вибратора**
· Опорный сигнал и сигналы ускорений опорной плиты, реактивной массы и усилия на грунт
· 24-битная запись
· GPS- время и позиция вибратора
· Цифровая сверка подобия
· Стандартный SEG-Y формат

**Поддерживаемые системы регистрации**
*В автономном режиме:*
· Все GPS синхронизированные нодальные системы записи, такие как Sigma, Z-Land, GSR и другие
· Все GPS синхронизированные системы непрерывной записи, например, 408/428 в микросейсмическом режиме.
*В режиме ведомого:*
· RTI интерфейс: OYO, ARAM
· OVC и SGD Интерфейс: Sercel

| | |
|---|---|
| **Количество свипов в библиотеке** | 16 стандартных, 16 заданных пользователем или 16 комбинированных |
| **Разрешение свипа** | 24 бит |
| **Частота дискретизации** | 0,25 мсек |
| **Временная синхронизации** | Устанавливается по GPS времени или по УКВ-радио сообщениям |
| **Беспроводная сеть** | доступна |
| **Внешняя память** | USB флэш |
| **Скорость встроенного Ethernet** | 100 Mbit |
| **Максимальное количество групп вибраторов** | 64 |

Работает с системами управления различными типами источников сейсмических сигналов - вибрационными, взрывными и типа «падающий груз»!

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УПРАВЛЯЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР (ШИФРАТОР)**

# UE II

· Работает с любыми регистрирующими системами и повышает эффективность производства работ во всех режимах регистрации
· Уменьшает количество радиоканалов и повышает надежность работы радиосвязи
· Работает с обычными УКВ-радиостанциями, что обеспечивает снижение стоимости и увеличение дальности действия
· Контроль качества в реальном времени - немедленная реакция на ошибки.
  Большой дисплей индикации состояния позволяет быстро определить неисправность.
  Контроль безопасности – мониторинг скорости и слежение за автотранспортными средствами.
  Гарантированная доставка информации о качестве возбуждаемых сейсмических сигналов.
  Запись сигнатуры источника и времени старта
  Контроль, перед возбуждением, расстояния от центра масс источников до флага
  Автоматический контроль качества излучения и дистанции до флага
· Поддерживает все новые технологии вибросейсморазведки:
  Slip Sweep (Shell)
  HFVS (ExxonMobil)
  ZenSeis (ConocoPhillips)
  ISS и DSSS (BP)
· Обеспечение максимальной производительности при работах с системами непрерывной регистрации

**Программное обеспечение сервера UE II**

· Контроль и мониторинг всех активных источников
· Максимальный уровень производительности при минимальном «мертвом» времени
· Возможность управления каждой группой (пауза/стоп) без влияния на остальные
· Новый “Free for All” метод регистрации, обеспечивающий возможность управления многими источниками с задаваемыми пользователем условиями
· Несколько групп отображаются на карте – по мере готовности
  Предотвращает работу в запрещенной зоне
  Предотвращает пропуск или дублирование точки возбуждения
· Обработка информации об источниках в форматах SPS или SEG-P1
· GIS-карты с поддержкой всех стандартных типов - geotiff, MrSid, и т.д.

**Размеры и потребляемая мощность**

Габариты, мм: 325x242x66
Вес, кг: 3,6
Напряжение питания,
В пост. тока: 9-36

С учетом пожеланий заказчиков вибрационные источники сейсмических сигналов производства **ЗАО «ГЕОСВИП»,** начиная с 2013 г., комплектуются системами управления **«ВИКОНТ/СвипМастер»** или новой системой **FORCE-III** фирмы **Seismic Source.**

Возможна также модернизация эксплуатируемых заказчиками виброисточников путем их комплектации новой системой управления. По вопросам приобретения системы **FORCE-III** и получения консультаций обращаться в **ЗАО «ГЕОСВИП»** по тел. **(499) 264-6787, e-mail: info@geosvip.ru**

# Исследование возможности и целесообразности применения кодоимпульсного метода для инженерной сейсморазведки

Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск,
Удалый М.Н., ООО «Ильинская геофизическая экспедиции»,
Астраханская обл., посёлок Ильинка

*В настоящее время возбуждение колебаний при инженерных изысканиях, как правило, осуществляется с использованием ручной кувалды. Применение в качестве источника сигналов ручной кувалды облегчает проведение работ, например, в горных условиях. Вместе с тем сейсмические импульсы, возбуждаемые кувалдой, отличаются динамической нестабильностью, а сама технология сейсмических наблюдений при этом характеризуется относительно низкой помехоустойчивостью. В данной статье рассмотрена возможность реализации для инженерной сейсморазведки кодоимпульсного накапливания колебаний с использованием маломощных малогабаритных переносных кодоимпульсных излучателей.*

*Показано, что для реализации кодоимпульсного метода с целью решения задач инженерной сейсморазведки весьма перспективным является применение однополярных кодовых функций ЛИЧ с максимальной частотой следования импульсов, равной 150-200 Гц, либо двухполярных дополнительных последовательностей с раздельной отработкой импульсов с положительной и отрицательной полярностью. Отмечается также, что однополярные последовательности ЛИП не могут быть использованы для инженерных изысканий, т.к. они характеризуются высоким уровнем корреляционного фона в ближней зоне ФВК.*

Сейсмические исследования, выполняемые при изысканиях, связанных с проектированием инженерных сооружений, как правило, предполагают изучение малоразмерных геологических объектов, расположенных на глубинах, не превышающих 30 – 50 м. Очевидно, что эффективное решение таких задач представляется возможным лишь при использовании высокочастотных зондирующих сигналов, позволяющих существенно повысить разрешающую способность метода. При этом многочисленные теоретические и экспериментальные исследования указывают на существование устойчивой тенденции к повышению спектрального состава формируемых колебаний по мере уменьшения энергии воздействия источника на грунт [8]. В частности, поэтому в инженерной сейсморазведке для возбуждения упругих колебаний, в основном, применяются маломощные излучатели типа ручной кувалды массой 4 кг и 8 кг, характеризующиеся энергией воздействия, равной 60 – 140 Дж [7].

Использование в качестве источника сигналов ручной кувалды позволяет существенно расширить спектр колебаний и в значительной степени облегчает проведение работ, например, в горных условиях, где применение транспортных средств становится проблематичным. Вместе с тем сейсмические импульсы, возбуждаемые кувалдой, в принципе не могут иметь стабильную динамику, что в значительной степени снижает эффективность сейсмических наблюдений по технологии многократных перекрытий. Более того, во многих случаях даже при кратностях статистического накапливания 12-15 при работе с кувалдой не удаётся обеспечить необходимую помехоустойчивость сейсмического метода.

В этой связи безусловный интерес представляют исследования возможности применения для инженерной сейсморазведки маломощных малогабаритных

переносных кодоимпульсных излучателей. Такие излучатели обеспечили бы формирование более стабильных по динамике мало амплитудных широкополосных сигналов. Вместе с тем помехоустойчивость кодоимпульсного метода, как известно, на порядок превышает помехоустойчивость сейсмического метода в режиме редко следующих импульсов [2]. Указанные, весьма значимые преимущества технологии сейсмических наблюдений с использованием маломощных кодоимпульсных излучателей, позволили бы существенно повысить эффективность инженерной сейсморазведки.

При построении технологии сейсмических наблюдений с использованием кодоимпульсного метода важнейшим является вопрос по выбору кодов импульсных последовательностей, т.е. временных последовательностей моментов вступления импульсов в развёртках. На основании выполненных к настоящему времени исследований показано, что наибольший интерес для сейсморазведки представляют однополярные последовательности с линейным по времени изменением частоты следования импульсов в развёртках (коды ЛИЧ), с линейным изменением периода следования импульсов (коды ЛИП), а также двухполярные дополнительные импульсные последовательности [1, 2, 6]. При этом для нефтегазовой сейсморазведки наиболее перспективными являются однополярные последовательности ЛИЧ с максимальной частотой следования импульсов Fmax ≈ 80 Гц и длительностью, равной T = 20 – 30 с [4], однополярные последовательности ЛИП при Fmax ≈ 30 – 40 Гц и T = 20 – 30 с [5], а также двухполярные дополнительные последовательности [2].

Для инженерной сейсморазведки параметры эффективных кодовых посылок могут отличаться от соответствующих параметров для нефтегазовой сейсморазведки. Такое утверждение является вполне очевидным в связи с тем, что для инженерной сейсморазведки характеристики волновых полей существенно отличаются от аналогичных характеристик при проведении сейсмических исследований на нефть и газ.

Чтобы сформировать представление об основных особенностях волновых сейсмических полей, регистрируемых в инженерной сейсморазведке, обратимся к рис. 1.

На рисунке приведены сейсмограммы и соответствующие им спектры, полученные в процессе инженерных изысканий в районе Сочи с использованием вертикальных (а) и горизонтальных (б) сейсмоприёмников. Для возбуждения колебаний в данном случае применялась кувалда массой 4 кг. Из рис. 1 следует, что в отличие от нефтегазовой сейсморазведки при инженерных изысканиях в связи с небольшим расстоянием от точек приёма до источника, а также в связи с неглубоким залеганием целевых горизонтов продольные полезные колебания (P) характеризуются существенно более высокочастотным составом, что, безусловно, следует учитывать при выборе кодовых функций. Так, в конкретном случае, преобладающая частота колебаний равнялась 93 Гц, а правая граничная частота на уровне 0,1 от максимального значения спектра, 175 Гц.

В непосредственной близости от продольных полезных колебаний на сейсмограмме, представленной на рис. 1,а можно видеть многофазный цуг низкоскоростных поверхностных волн R (Vк≈200 м/с). Такие волны присутствуют при инженерных изысканиях повсеместно, характеризуются повышенной амплитудой и по этой причине при реализации кодоимпульсного метода могут формировать интенсивный корреляционный фон, снижающий качество выделения более слабых полезных продоль-

ных колебаний. Указанное обстоятельство также следует учитывать при определении технологии кодоимпульсного метода для инженерной сейсморазведки.

И, наконец, важно отметить, что при проведении инженерных изысканий методами сейсмической разведки, как правило, предполагается исследование не только структурных форм геологических объектов, но и динамических модулей упругости пород. Для решения таких задач существует необходимость возбуждения и регистрации не только продольных, но и поперечных колебаний. Это обстоятельство также необходимо учитывать при определении методики инженерных изысканий с использованием кодоимпульсного накапливания сейсмических колебаний.

В данной статье по результатам проведённых модельных исследований обсуждается целесообразность решения задач инженерной сейсморазведки путём использования кодоимпульсного метода с применением однополярных импульсных последовательностей ЛИЧ, однополярных последовательностей ЛИП и двухполярных дополнительных последовательностей [1, 2, 4, 5]. При моделировании кодоимпульсные развёртки были составлены из импульсов Берлаге (1)

$$F(t) = a \cdot t^n \cdot e^{-\beta t} \sin 2\pi f_{вид} t \quad t \geq 0 \qquad (1)$$

где $f_{вид}$ – видимая (преобладающая) частота колебаний, β – коэффициент затухания импульса.

При этом для продольных волн $f_{вид}$ = 93 Гц, β = 300, n = 2,1, а для низкоскоростных поверхностных волн $f_{вид}$ = 26 Гц, β =90 , n =1,9. Выбранные значения указанных параметров обеспечивали наибольшее соответствие спектров наблюдённых и теоретических импульсов.

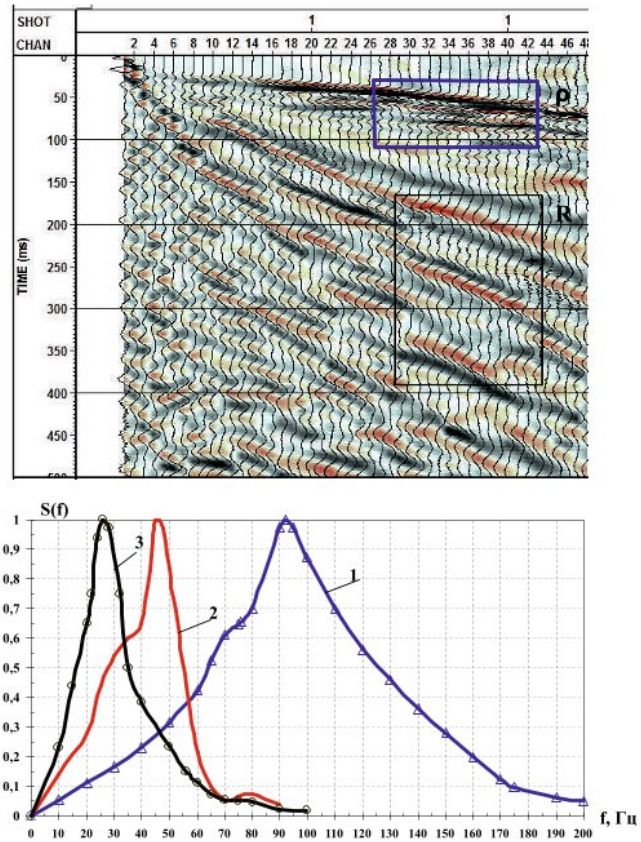
Временное сжатие импульсных последовательностей X(t) осуществлялось путём корреляционной свёртки X(t) * K(-t), где K(-t) – функция кода последовательности. Такой вид корреляционной обработки исключает операции умножения и поэтому называется способом суммирования.

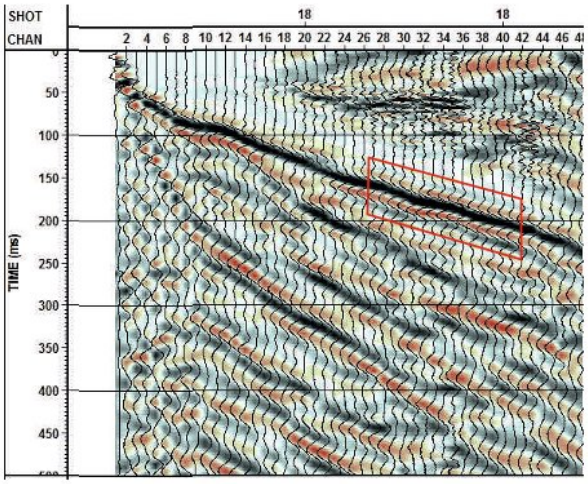
Следует отметить, что кодоимпульсный метод в течение длительного времени весьма успешно использовался в Костромской геофизической экспедиции при разведке нефти и газа. При этом в основном, для решения практических задач применялись однополярные импульсные последовательности с линейным изменением частоты следования импульсов (коды ЛИЧ) [2, 4]. Для кодов ЛИЧ с начальной и конечной частотами следования $F_н$ и $F_к$ при длительности развёртки T, временное положение n-го импульса, т.е. по существу функция кода, определяется исходя из следующего выражения

$$t_n = (T/\triangle F)(\sqrt{F_н^2 + 2n\triangle F/T} - F_н), \qquad (2)$$

где $t_n$ –временное положение n-го импульса в развёртке (начальному импульсу присвоен номер «0»), F – ширина частотного диапазона развёртки.

При этом результаты исследований, приведённые в работе [4], показывают, что спектр корреляционных импульсов кодоимпульсных сигналов ЛИЧ в значительной степени зависит не только от частотного состава единичных импульсов, входящих в последовательность, но и от частотного диапазона развёртки $F_н \div F_к$, т.е. от спектральных характеристик функции кода. Так, сохранить высокочастотные гармонические составляющие, участвующие в формировании единичных импульсов, входящих в развёртку ЛИЧ, представляется возможным лишь при условии, если максимальная частота





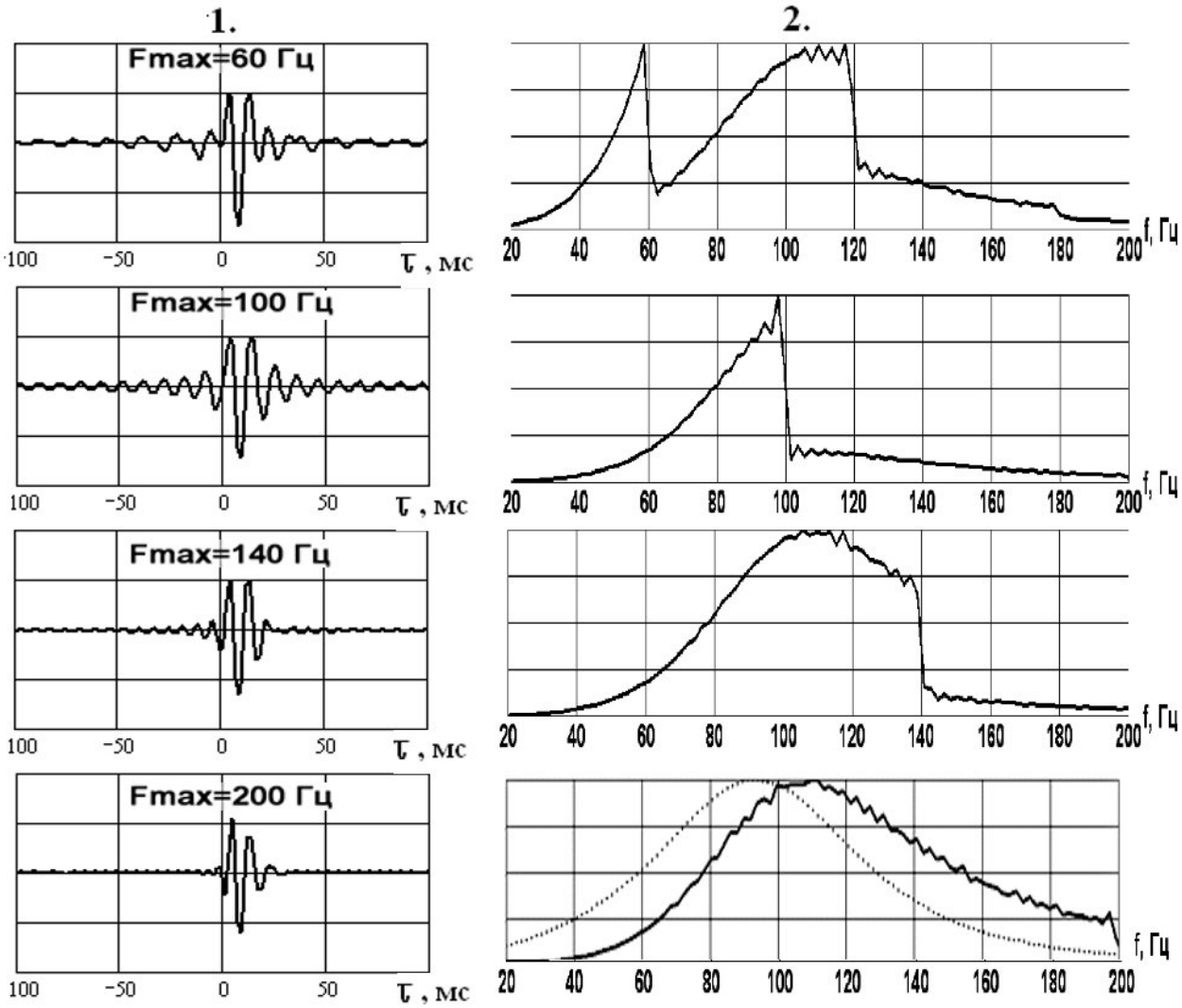


▲ *Рис. 1. Сейсмические записи, зарегистрированные в районе Сочи с использованием вертикальных (а) и горизонтальных сейсмоприёмников (б), а также спектры, соответствующие представленным записям (в)*
*1 – спектр продольных полезных колебаний (окно расчёта P);*
*2 – поперечных полезных колебаний (S);*
*3 – волн Рэлеевского типа (R)*

развёртки $F_{max}$ располагается в области правой граничной частоты $f_{гр}$ спектра единичных импульсов последовательности [4]. Принимая же во внимание относительно высокочастотный состав продольных колебаний при проведении инженерных изысканий можно предположить, что максимальная частота развёртки ЛИЧ для инженерной сейсморазведки с использованием продольных волн должна быть не менее 150-200 Гц

Так, на рис. 2 приведены главные максимумы ФВК импульсных последовательностей ЛИЧ и соответствующие им спектры, рассчитанные при различных значениях Fmax. Расчёты в данном случае были выполнены с учётом динамических характеристик полезных продольных колебаний, регистрируемых при инженерных изысканиях. Максимальная частота развёртки Fmax изменялась от 60 Гц до 200 Гц, а в качестве единичного импульса последовательности использовался импульс Берлаге с параметрами: fвид = 93 Гц, β = 300, n = 2,1.

Из рисунка 2 следует, что для высокочастотных продольных колебаний с верхней граничной частотой frp ≈ 175 Гц спектр ФВК кодоимпульсных последовательностей ЛИЧ при Fmax = 60 Гц, т.е. при значительном несоответствии спектральных характеристик функции кода и единичного импульса, имеет весьма сложную форму и два экстремума, сформированные соответственно на частотах ≈ 60 Гц и ≈ 110 Гц. С увеличением Fmax форма спектра ФВК становится более простой, однако из записи практически исключаются гармонические составляющие, расположенные правее Fmax. Таким образом, очевидно, что эффективное применение кодоимпульсного накапливания колебаний с использованием развёрток ЛИЧ представляется возможным при условии, если максимальная частота следования Fmax равна или превышает правую граничную частоту frp спектра единичных импуль-




▲ *Рис. 2. Главные максимумы ФВК (1) импульсных последовательностей ЛИЧ и соответствующие им спектры (2), рассчитанные при различных значениях $F_{max}$ ($F_{min}$= 10 Гц, T = 20 с, $f_{вид}$ = 93 Гц, в = 300, n = 2,1), точками показан спектр единичных импульсов последовательности)*

сов. Соблюдение указанного условия позволяет сохранить высокочастотную часть спектра продольных колебаний при инженерных изысканиях и сформировать предельно компактные корреляционные импульсы (см. рис. 2).

Более того, в связи с тем, что спектры функций кода ЛИЧ характеризуются равномерным увеличением спектральной плотности с ростом частоты [3], корреляционные импульсы для последовательностей ЛИЧ при достаточно больших значениях Fmax ≥ frp отличаются несколько более высокочастотным составом по сравнению с единичными импульсами, формирующими эти последовательности. Так, из рис. 2 можно видеть, что при Fmax = 200 Гц спектры ФВК и спектры единичных импульсов имеют практически одинаковую форму, однако для корреляционных импульсов спектр смещён вправо, приблизительно на 20 Гц. Т.е. с точки зрения спектральных характеристик сигнала переход от одиночных импульсов к режиму кодоимпульсного накапливания с использованием

развёрток ЛИЧ очень напоминает переход от вибросейсмических ЛЧМ-сигналов к вибросейсмическим нелинейным, например, степенным или логарифмическим развёрткам.

Итак, высокую эффективность инженерных изысканий с использованием кодоимпульсных последовательностей ЛИЧ, можно обеспечить при условии, если применяемые сейсмические излучатели позволяют формировать импульсные последовательности с максимальной частотой следования 150-200 Гц. Очевидно, что разработка и создание таких излучателей является достаточно сложной технической задачей. Однако, как уже отмечалось, кодоимпульсный метод по сравнению с методом статистического накапливания в режиме редко следующих импульсов, отличается значительно более высокой помехоустойчивостью, что в принципе позволяет без ущерба для качества сейсмических записей существенно снизить динамические нагрузки на грунт и тем самым существенно упростить задачу по разработке высокочастотного излучателя.

Так, если предположить, что кодоимпульсный излучатель развивает такое же динамическое усилие на грунт, как и в случае удара кувалды, то при кодоимпульсном накапливании с использованием последовательности ЛИЧ с частотным диапазоном 10-180 Гц и длительностью 15 с помехоустойчивость сейсмического метода будет в ≈ 10 раз превышать помехоустойчивость метода при 15-кратном возбуждении колебаний кувалдой. Т.е. динамическое усилие, развиваемое кодоимпульсным излучателем, можно без ущерба для качества, как минимум, уменьшить в 5 раз по сравнению с силовым воздействием кувалдой на грунт. Учитывая, что силовое воздействие на грунт при ударе кувалдой соответствует диапазону 15-25 кН [7], усилие, развиваемое кодоимпульсным излучателем можно ограничить значениями 3-5 кН.

Таким образом, кодоимпульсный излучатель, используемый для решения задач, стоящих перед инженерной сейсморазведкой, при возбуждении импульсных последовательностей ЛИЧ должен обеспечивать максимальную частоту следования воздействий, равную 150-200 Гц при динамическом усилии на грунт 3-5 кН.

Существенно уменьшить максимальную частоту следования сейсмических импульсов в однополярных кодоимпульсных развёртках при проведении инженерных изысканий можно путём использования сигналов с линейным изменением периода следования воздействий (коды ЛИП). Величина периода следования импульсов $T_n$ в развёртке ЛИП определяется условием.

$$T_n=T_0-\Delta T(n-1), \qquad (3)$$

где $T_0$ – начальный период следования импульсов;

$\Delta T$ – приращение периода следования импульсов;

n - номер импульса в развёртке.

Используя формулу суммы членов арифметической прогрессии и полагая, что начальному импульсу присвоен номер «0» можно определить относительное запаздывание $t_n$ для n-го импульса в развёртке ЛИП, т.е. функцию кода последовательности

$$t_n = n\,T_0 - n(n-1)\,\Delta T/2 \qquad (4)$$

Очевидно, что по аналогии с вибросейсмическим методом, режимы работы кодоимпульсного излучателя следует задавать с использованием физически наиболее значимых параметров, реально определяющих эффективность метода и технические возможности излучателя . К таким параметрам можно отнести

конечную (максимальную) частоту следования импульсов в развёртке $F_{max}$, длительность развёртки T и число импульсов N в развёртке.

Указывая на практическую целесообразность задания последовательности ЛИП с использованием параметров Fmax, T и N, следует вместе с тем отметить, что в формуле (4), определяющей функцию кода развёртки ЛИП параметры $F_{max}$, T и N отсутствуют. Поэтому существует необходимость задания значений $F_{max}$, T и N через соответствующие им значения параметров $T_0$ и $\Delta T$.

Запишем систему уравнений

$$T_0 - (N-1)\,\Delta T = 1/F_{max} \qquad (5)$$

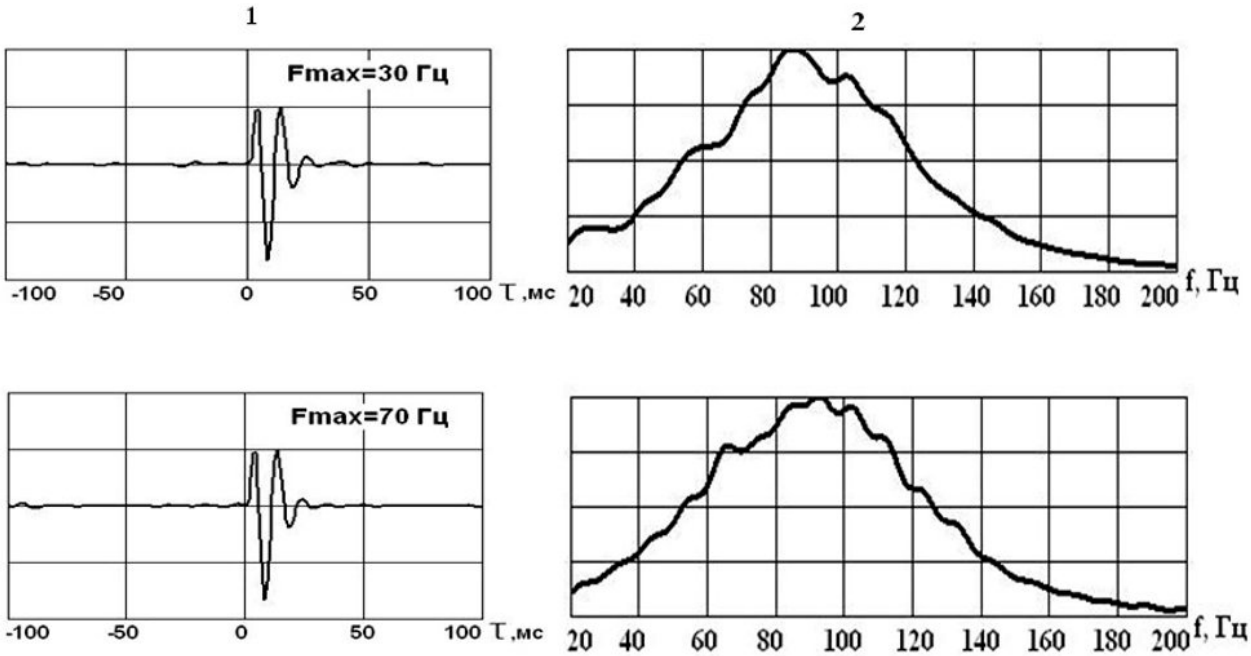
$$NT_0 - [N(N-1)\,\Delta T]/2 = T \qquad (6)$$

Данная система уравнений позволяет по известным параметрам $F_{max}$, T и N определить параметры $T_0$ и $\Delta T$.

Как было показано в работе [5] в отличие от импульсных последовательностей ЛИЧ, последовательности ЛИП могут обеспечивать формирование компактных корреляционных импульсов, характеризующихся широкополосными спектральными характеристиками, при использовании кодовых функций с существенно меньшими значениями максимальной частоты развёртки Fmax. Так, на рис. 3 приведены главные максимумы ФВК импульсных последовательностей ЛИП и соответствующие им спектры, рассчитанные при различных значениях Fmax. Материалы, представленные на рис. 3, подтверждают возможность весьма значительного уменьшения параметра Fmax при проведении инженерных изысканий с применением кодоимпульсного метода, основанного на использовании последовательностей ЛИП. Действительно, как можно видеть из рис. 3, даже при условии $F_{max}$ = 30 Гц главный максимум и амплитудный спектр ФВК импульсной последовательности ЛИП практически не отличаются от аналогичных характеристик единичных импульсов последовательности. Некоторые, весьма не существенные различия, заключаются в незначительном увеличении веса низкочастотных составляющих для корреляционных импульсов последовательностей ЛИП. Физически это связано с тем, что значения спектральной плотности функции кода ЛИП при увеличении частоты несколько уменьшаются [3].

Очевидно, что обсуждаемая возможность уменьшения параметра Fmax вследствие применения при инженерных изысканиях последовательностей ЛИП, позволяет весьма существенно упростить разработку кодоимпульсных излучателей. Однако уменьшение Fmax неизбежно приведёт и к снижению помехоустойчивости метода и потребует в свою очередь увеличения динамических нагрузок на грунт с целью компенсации ожидаемого снижения помехоустойчивости. Так, если при использовании развёрток ЛИЧ с частотным диапазоном 10-150 Гц и длительностью 15 с число воздействий равно 1200, то для развёрток ЛИП с частотным диапазоном 10-30 Гц и длительностью 15 с количество воздействий равно соответственно 224. Скомпенсировать потерю энергии в данном случае можно путём увеличения динамических нагрузок на грунт в 2,3 раза, т.е. до 7-12 кН. При окончательном же выборе оптимальных соотношений между Fmax и величиной динамических нагрузок на грунт, безусловно, следует учитывать реальные возможности разработчиков кодоимпульсных излучателей.

Как уже отмечалось выше, на сейсмических записях, регистрируемых при инженерных изысканиях, в непосредственной близости от продольных полезных колебаний присутствуют многофазные цуги высокоамплитудных




▲ *Рис. 3. Главные максимумы ФВК (1) импульсных последовательностей ЛИП и соответствующие им спектры (2), рассчитанные при различных значениях $F_{max}$($F_{min}$= 10 Гц, T = 20 с , $f_{вид}$ = 93 Гц, в = 300, n = 2,1)*

низкоскоростных поверхностных волн. Такие помехи могут формировать интенсивный корреляционный фон, снижающий качество выделения более слабых продольных колебаний. В этой связи при выборе наиболее приемлемых для инженерных изысканий кодовых функций последовательностей следует учитывать не только динамику корреляционных импульсов полезных сигналов, но и степень мешающего влияния помех корреляционного преобразования, соответствующих наиболее интенсивным помехам.

С целью оценки мешающего влияния на полезную запись корреляционного фона, связанного с доминирующими поверхностными волнами, были рассчитаны графики динамического диапазона корреляционного преобразования D(τ) для последовательностей ЛИЧ и ЛИП (см. рис. 4). Единичные импульсы в развёртках задавались в данном случае импульсами Берлаге с параметрами $f_{вид}$ = 26 Гц, β = 90, n = 1,9. Динамический диапазон преобразования рассчитывался по формуле

$$D(\tau) = 20 \lg A_{max}/\sigma(\tau), \qquad (7)$$

где $A_{max}$ – пиковая амплитуда главного максимума ФВК кодоимпульсного сигнала; σ(τ) – среднеквадратичная амплитуда корреляционного фона во временном окне 50 мс. Значения D(τ) определялись вдоль корреляционной функции с дискретностью 1 мс.

Из рис. 4, а можно видеть, что для наиболее оптимальных для инженерных изысканий импульсных последовательностей ЛИЧ значения динамического диапазона помех корреляционного преобразования, формируемых низкоскоростными помехами, соответствуют 40 – 53 дБ при τ = 0,11 – 0,6 с, что в принципе позволяет использовать такие последовательности при условии, если амплитуда помех не более, чем на ≈ 30 дБ превышает уровень полезных сигналов.

Для кодоимпульсных же сигналов ЛИП в аналогичном временном интервале значения динамического диапазона преобразования помех соответствуют 25 – 50 дБ (см. рис. 4, б), что не позволяет

рассчитывать на эффективное использование кодоимпульсного метода для решения задач инженерной сейсморазведки. Так, например, для сейсмической записи, приведённой на рис. 1, соотношения между амплитудами продольных полезных колебаний, регистрируемых на временах 50 – 150 мс, и амплитудами доминирующих поверхностных волн приближались к 30 дБ. Т.е. в случае использования в таких, совершенно типичных условиях, импульсных последовательностей ЛИП относительно слабые полезные сигналы были бы соизмеримы по интенсивности с корреляционным фоном, формируемым поверхностными волнами.

Уменьшить интенсивность корреляционного фона при кодоимпульсном накапливании можно, как известно, путём применения двухполярных дополнительные последовательностей [1].

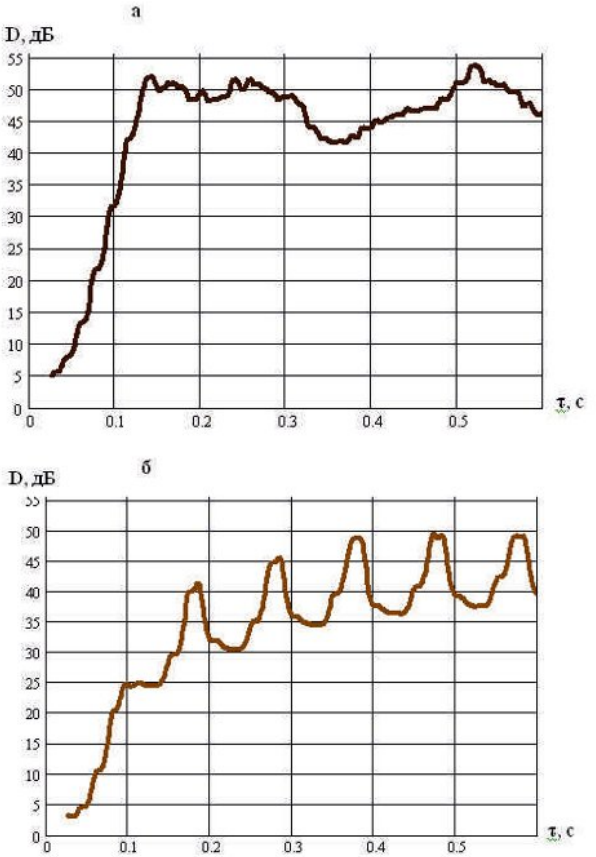
Импульсные последовательности $F_n(t)$ и $'F_n(t)$ называются дополнительными, если им соответствуют функции кода $K(t)$ и $'K(t)$, для которых выполняется условие

$$U_0(\tau) + 'U_0(\tau) = \begin{cases} 2 \text{ при } =0, \\ 0 \text{ при } = 1, 2, \ldots, (N-1), \end{cases} \quad (8)$$

где $U_0(\tau)$ и $'U_0(\tau)$ – нормированные ФАК функций $K(t)$ и $K(t)$.

Т.е. для таких последовательностей сумма ФАК функций кода равна нулю везде, кроме $\tau=0$.

Как уже отмечалось, дополнительные последовательности относятся к классу так называемых двухполярных последовательностей. Вместе с тем используемые в сейсморазведке импульсные излучатели являются излучателями одностороннего действия. В работе [6] был предложен весьма простой способ, позволяющий формировать двухполярные последовательности излучателями одностороннего действия. В предложенном способе разнополярную последовательность импульсов реализуют односторонними воздействиями за два сеанса. Сначала возбуждается развёртка, соответствующая временному закону следования импульсов с положительной полярностью, затем развёртка, соответствующая закону следования импульсов с отрицательной полярностью. Вычитая вторую запись из первой, получают аналог виброграммы, которая бы регистрировалась при использовании кодоимпульсных излучателей двухстороннего действия силы.




▲ *Рис.4. Графики динамического диапазона корреляционного преобразования D(τ) для функций взаимной корреляции однополярных импульсных последовательностей, соответствующих низкоскоростной поверхностной волне:*
*а - ЛИЧ при $F_{max}$ = 200 Гц;*
*б – ЛИП при $F_{max}$ = 70 Гц*

Оценивая эффективность применения дополнительных последовательностей для решения задач инженерной сейсмо-

разведки необходимо учитывать, что в отличие от «идеальных» кодоимпульсных сигналов, характеризующихся постоянной амплитудой единичных импульсов, последовательности, формируемые реальными сейсмическими источниками, обладают некоторой амплитудной неидентичностью импульсов в развёртке, зависящей от частоты следования F. Так, например, экспериментальная зависимость $A_{имп}$ (F), полученная для серийного кодоимпульсного источника ИКИ-10/40, удовлетворительно аппроксимируется при F ≥ 5 Гц степенной функцией [2]

$$A_{имп} = k \cdot F^{-p}. \qquad (9)$$

Вместе с тем, при раздельной отработке импульсов с положительной и отрицательной полярностью, входящих в дополнительные развёртки, частота следования не остаётся постоянной, что приводит к амплитудной неидентичности, ориентировочно определяемой зависимостью (9). При такой технологии формирования дополнительных последовательностей амплитуду импульсов можно рассчитать исходя из выражения (10)

$$A_n \sim [1/(t_n - t_{n-1})]^{-p}, \qquad (10)$$

где n – номер импульсов для однополярных развёрток, получаемых вследствие раздельной отработки импульсов дополнительных последовательностей с положительной и отрицательной полярностью.

Очевидно, что в случае повышенных значений параметра p амплитудная неидентичность в двухполярных последовательностях, формируемых путём раздельной отработке импульсов с положительной и отрицательной полярностью, может приводить к уменьшению динамического диапазона корреляционного преобразования и к искажениям динамики главного максимума ФВК. Анализ взаимосвязи между амплитудной неидентичностью импульсов в развёртках, значениями динамического диапазона преобразования и динамикой главного максимума ФВК был выполнен с использованием дополнительных последовательностей K(t) и ‘K(t), каждая из которых включала в себя по 256 импульсов. Функции кода дополнительных последовательностей, выбранных для анализа, приведены ниже:

K(t)=1 1 1-1 1 1-1 1 1 1 1-1-1-1 1-1 1 1 1-1 1 1-1-1-1 1 1-1-1-1 1 1 1-1 1-1 1 1 1-1 1 1-1 1-1-1-1 1 1-1 1-1 1-1 1 1-1 1-1 1-

ного преобразования дополнительных последовательностей, формируемых путём раздельной отработки импульсов с положительной и отрицательной полярностью, рассчитанные для доминирующей поверхностной волны ($f_{вид}$ = 26 Гц, β = 90, n = 1,9) при различных значениях параметра p. Из приведённого рисунка можно видеть, что для p ≤ 0,12-0,16, т.е. при условии если в частотном диапазоне развёртки 10 – 80 Гц амплитуда импульсов изменяется не более чем в 1,3 - 1,4 раза, или же в частотном диапазоне развёртки 10-30 Гц не более чем в 1,15 – 1,2 раза, динамический диапазон корреляционного преобразования доминирующих поверхностных волн в интервале τ = 0,3 – 1,0 с составляет не менее 65-62 дБ. Такие значения динамического диапазона преобразования в ближней зоне корреляционных импульсов поверхностных помех позволяют практически исключить мешающее влияние корреляционного фона на целевые отражённые волны при инженерных изысканиях.

При значениях же параметра p = 0,32, т.е. при двух - кратном изменении амплитуды импульсов в пределах частотного интервала развёрток 10-80 Гц, динамический диапазон преобразования дополнительных последовательностей для поверхностных помех в указанном временном отрезке составляет не менее 56 дБ, что также превышает динамический диапазон преобразования при работе с однополярными кодовыми функциями. Однако очевидно, что эффективность кодоимпульсного метода определяется не только уровнем корреляционного фона, но и динамикой главных максимумов ФВК полезных сигналов.

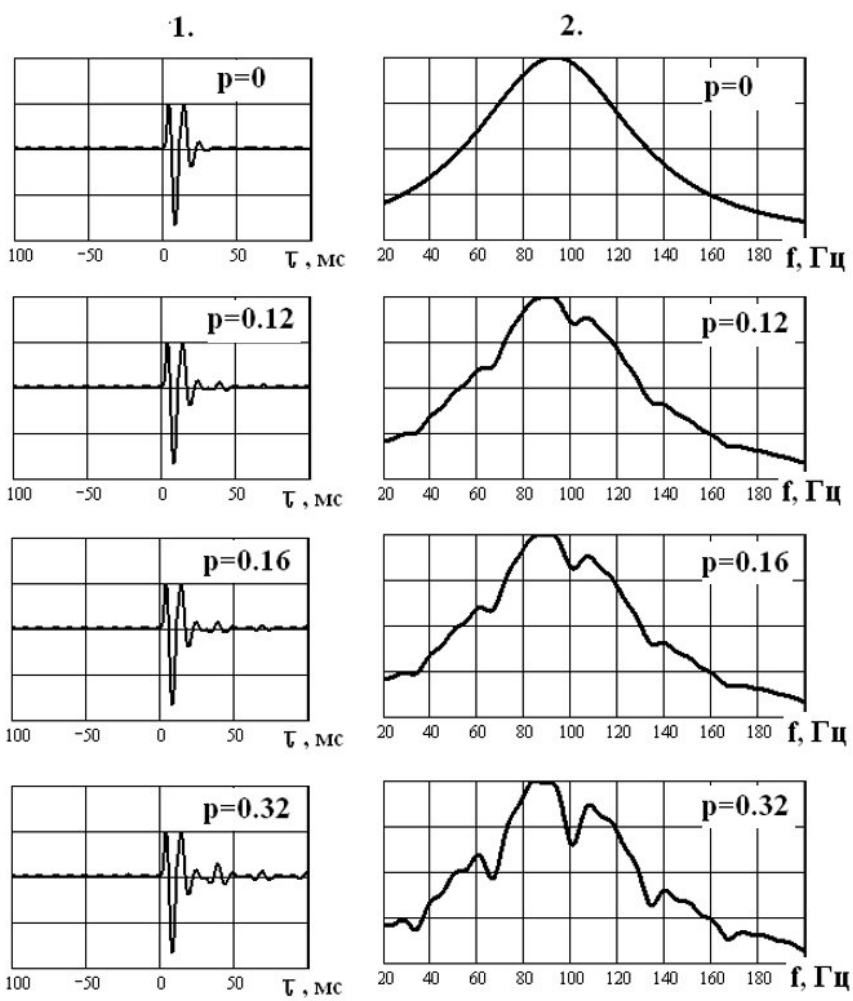



*Рис. 6. ФВК (1) и амплитудные спектры главных максимумов ФВК (2) двухполярных дополнительных последовательностей, рассчитанные для целевых отражений, при различных значениях параметра p (τ0 = 30 мс)*

На рис. 6 представлены главные максимумы ФВК дополнительных последовательностей, и соответствующие им амплитудные спектры, рассчитанные для целевых отражений, регистрируемых при инженерных изысканиях ($f_{вид}$ = 93 Гц, β = 300, n = 2,1). При моделировании значения параметра p изменялись в данном случае от нуля до 0,32, тактовый период следования импульсов τ0 равнялся 30 м. Анализ графиков, представленных на рис. 6, свидетельствует о том, что при использовании дополнительных последовательностей главные максимумы ФВК целевых отражений и соответствующие им спектры практически не искажаются если p ≤ 0,12-0,16. При более высоких же значениях параметра p наблюдается заметное усиление боковых пульсаций главных максимумов ФВК, что в свою очередь обуславливает заметные искажения формы амплитудных спектров корреляционных импульсов.

Заключение

1. Безусловный интерес представляют исследования возможности и целесообразности применения для инженерной сейсморазведки кодоимпульсного метода с использованием малогабаритного переносного излучателя, возбуждающего не только продольные, но и поперечные колебания. Технология кодоимпульсного накапливания колебаний, отличающаяся высокой помехоустойчивостью, позволила бы повысить эффективность инженерных изысканий путём формирования стабильные по динамике мало амплитудных широкополосных сигналов.

2. Для реализации кодоимпульсного метода с целью решения задач инженерной сейсморазведки весьма перспективным при возбуждении поля продольных колебаний является применение однополярных кодовых функций ЛИЧ с максимальной частотой следования импульсов, равной 150-200 Гц. При таких параметрах кодоимпульсного сигнала спектр корреляционных импульсов целевых отражений для продольных колебаний при инженерных изысканиях сохраняет высокочастотные гармонические составляющие, а динамический диапазон корреляционного преобразования для доминирующих поверхностных помех соответствуют 40 – 53 дБ при τ = 0,11 – 0,6 с, что позволяет использовать такие последовательности при условии, если амплитуда помех не более, чем на ≈30 дБ превышает уровень полезных сигналов.

3. Однополярные последовательности ЛИП отличаются от последовательностей ЛИЧ значительно более высоким уровнем корреляционного фона в ближней зоне ФВК. Так, в интервале времён τ = 0,11 – 0,6 с динамический диапазон преобразования низкоскоростных помех соответствуют 25 – 50 дБ, что не позволяет применять такие развёртки для решения задач инженерной сейсморазведки.

4. Уменьшить интенсивность корреляционного фона при кодоимпульсном накапливании можно, как известно, путём применения двухполярных дополнительные последовательностей с раздельной отработкой импульсов с положительной и отрицательной полярностью. Для формирования дополнительных последовательностей могут быть использованы излучатели, для которых амплитуда импульсов уменьшается не более чем в 1,3-1,4 раза с увеличением частоты следования от 10 Гц до 80 Гц, или не более чем в 1,15-1,2 раза с увеличением частоты следования от 10 Гц до 30 Гц. При таких параметрах излучателя динамика корреляционных импульсов дополнительных последовательностей, соответствующих целевым отраженным продольным волнам, регистрируемым при инженерных изысканиях, практически не искажается, а корреляционный фон, формируемый доминирующими повер-

хностными помехами, практически не оказывает мешающего влияния на полезную запись.

5. При использовании двухполярных дополнительных развёрток технический руководитель работ может задавать относительно низкие значения тактовой частоты, что существенно облегчает технические требования при разработке кодоимпульсных излучателей.

6. При формировании поля поперечных колебаний при инженерных изысканиях с применением кодоимпульсного метода перспективными также являются двухполярные дополнительные последовательности наряду с однополярными развёртками ЛИЧ с максимальной частотой следования импульсов Fmax = 60 – 70 Гц.

**Литература**

1. Варакин Л.Е., 1970, Теория сложных сигналов. М.: Сов. радио, 376 с.

2. Кострыгин Ю.П., 2002, Сейсморазведка на сложных сигналах. Тверь: Изд-во ГЕРС, 416 с.

3. Кострыгин Ю.П., Колесников Д.А., 2011, Оценка влияния амплитудной неидентичности импульсов в развёртках на эффективность кодоимпульсного накапливания сейсмических колебаний//Технологии сейсморазведки. №2. С. 97-108.

4. Кострыгин Ю.П., Колесников Д.А., 2010, Оценка возможности повышения эффективности кодоимпульсного накапливания сейсмических колебаний с использованием однополярных кодов ЛИЧ// Технологии сейсморазведки. №3. С. 110-114.

5. Кострыгин Ю.П., Колесников Д.А., 2010, Сравнительный анализ эффективности кодоимпульсного накапливания сейсмических колебаний при использовании однополярных кодов ЛИЧ и ЛИП// Технологии сейсморазведки. №4. С. 46-52.

6. Роман В.И., Шпортюк Г.А., Михайличенко О.Г., Королюк П.А., 1986, Перспективы применения дополнительных последовательностей импульсов в невзрывных методах сейсморазведки, ГСЗ и сейсмологии// Современные геодинамические процессы и их изучение в связи с проблемой прогноза землетрясений. Киев: Наук. думка, 22-26 Рудомаха Н.Н., Горшков.

7. Рудомаха Н.Н., 2012, Оценка эффективности сейсмоисточника "КВАНТ" при инженерной сейсморазведке // Материалы 2-й Международной научно-практической конференции "Сочи-2012", С. 4.

8. Шнеерсон М.Б., Майоров В.В., 1988, Наземная невзрывная сейсморазведка. М., Недра, 237 с.

## Подробнее об авторах

Кострыгин
Юрий Петрович

директор
ООО «Новоросморгео»,
доктор технических
наук

Удалый
Михаил Николаевич

ООО «Ильинская
геофизическая
экспедиция»,
ведущий геофизик

# К обоснованию создания кодоимпульсного источника сейсмических волн

Шайдуров Г. Я., Кудинов Д. С., Щитников А. А,
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Новосибирск
Воронцов Ю. С., ООО НПФ «Мезон»
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Новосибирск
Копылов М. А., Минусинский филиал ООО «Эвенкиягеофизика», г.Минусинск

*В статье рассматриваются возможности создания сейсмоисточника на основе модуляции сейсмического сигнала псевдослучайной кодовой последовательностью. Дано обоснование расширения полосы частот при воздействии кодоимпульсного источника на грунт за счет использования двуполярных импульсов.*

Актуальность проблемы

Имеющиеся на вооружении сейсморазведки невзрывные источники вибрационного типа (далее «вибраторы») и невзрывные источники импульсного типа (далее «ИНИ») обладают рядом существенных недостатков:

1. «Вибраторы» имеют большую массу и высокую стоимость, превышающие такие же показатели «ИНИ» в 2-3 раза, а поступающие с сейсмоисточников сигналы позволяют оценивать отношение сигнал/шум лишь после корреляционной обработки.

2. Выпускаемые в России ИНИ не обеспечивают энергетический потенциал, необходимый при работе в условиях высокого уровня промышленных помех и собственных вибрационных помех транспортной машины.

По этой причине, для увеличения отношения сигнал/шум используют групповую работу нескольких источников, либо режим длительного накопления путем увеличения числа ударов, что снижает производительность работ.

Экономически оправдано применение метода параллельной независимой работы нескольких источников, что требует для снижения взаимных помех разноса источников по площади на значительные расстояния и вызывает дополнительные экономические потери.

Третий тип источников – кодоимпульсные (КДИ), несмотря на ожидаемые преимущества по массе, цене и помехоустойчивости, промышленного применения не нашел.

Между тем, режим КДИ на базе импульсной технологии заслуживает внимания разработчиков, поскольку дает следующие ощутимые преимущества:

1. Обеспечение повышения отношения сигнал/шум за счет увеличения базы зондирующего сигнала при псевдослучайной, либо частотной модуляции их последовательностей. Под базой сигнала понимается произведение полосы рабочих частот на длительность посылки $B=\Delta f \cdot T$.

2. Обеспечение подавления всех видов помех, сосредоточенных по спектру – промышленных, вибрационных и т.п.

3. Существенное снижение за счет большой базы сигнала мощности излучателя, практически на величину используемой базы сигнала.

По этой причине на порядок уменьшается цена излучателя.

4. Возможность введения адаптивного электронного управления спектром излучаемого сигнала.

5. Повышение безопасности работы за счет снижения в 5 раз напряжения питания выходного блока преобразования электрической энергии в механическую.

6. Обеспечение стабильности амплитуды, длительности и формы излучаемых импульсов, поскольку их можно формировать без использования накопительных конденсаторов, а в качестве источников питания можно использовать аккумуляторы, либо суперконденсаторы.

7. С учетом существенного снижения мощности удара обеспечивается оптимальный режим работы грунта непосредственно под опорной плитой в рамках линейной части модуля Юнга. Одновременно это повышает экологичность работы источника.

8. Существенное повышение производительности работы источника по сравнению с изделиями «Енисей» за счет исключения пассивных пауз между излучаемыми импульсами.

Оценим энергетический выигрыш, получаемый КДИ, по сравнению с источником «Енисей КЭМ-4» с мощностью удара в 100 т при одинаковом времени излучения, например, $T=60c$, т.е. 12 ударов «Енисея» и одна ПСП-реализация КДИ.

Энергия 12 ударов «Енисея» по 5 мс каждый

$$E_E = I_E^2 \tau\, n \qquad (1)$$

Энергия, излучаемая КДИ

$$E_K = I_K^2 \tau\, B \qquad (2)$$

где $I_E$ и $I_K$- ток в обмотках возбуждения «Енисея» и КДИ, соответственно; τ- длительность импульса.

База сигнала ПСП КДИ

$$B = \Delta f \cdot T = \frac{T}{2\tau} \qquad (3)$$

Если $T=60c, f\Delta=80\tilde{A}\ddot{o}$, то $B=4800$.

Выигрыш КДИ составит

$$\frac{E_K}{E_E} = \frac{I_K^2 B}{I_E^2 n} \qquad (4)$$

При равенстве токов

$$I_K = I_E,\ \frac{E_K}{E_E} = \frac{B}{n};$$

Это означает, что для обеспечения одинакового отношения сигнал/шум в сейсмоприемнике амплитуда импульса тока в КДИ источника может быть снижена в $\sqrt{\frac{B}{n}} = 20$ раз.

Собственно повышенное отношение сигнал/шум обеспечивается вибрационными источниками за счет большой базы его сигнала.

При длине свипа в 10 с и полосе излучаемых частот $f\Delta=80\tilde{A}\ddot{o}$ база сигнала вибратора составляет $B_a=800$, что позволяет в потенциале снизить мощность его сигнала излучения за половину периода на такую же величину.

Таким образом, мы еще раз убеждаемся, что широкополосные сигналы с большой базой являются в энергетическом смысле чрезвычайно перспективными.

Далее рассмотрим некоторые физические причины, из-за которых КДИ не получили должного признания в практике.

В работе [1] рассмотрены проблемы формирования оптимальных сигналов КДИ в пределах ограниченного спектра излучаемых частот 10÷80 Гц, определяемого существующими параметрами электромагнитных импульсных невзрывных источников «Енисей» и «Геосейс», однако без учета частотной зависимости формирующей среды.

Между тем сигналы в виде псевдослучайной последовательности импульсов

ПСП нашли широкое применение в радиоэлектронике по причине частотной независимости среды передачи радиосигнала через атмосферу. В сейсморазведке же канал формирования и передачи акустического сигнала существенно частотно-зависимый.

Известно, что для всех типов невзрывных источников наблюдаемый максимум спектральной плотности сигнала находится в пределах 20÷40 Гц.

Основной вклад в формирование спектра зондирующего сигнала невзрывных источников вносит участок грунта под плитой – антенной на глубину порядка 2D (D – диаметр плиты).

В целом передаточная функция излучатель – георазрез – приемник описывается частотной характеристикой вида:

$$\Phi(j\omega) = \frac{A}{(\alpha_1 + j\omega)(\alpha_2 + j\omega)} \frac{B}{\beta + j\omega} e^{-c\bar{\tau}}, \quad (5)$$

где коэффициенты A, B, C, $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\beta$ зависят от упругих и вязких свойств среды и массы излучателя.

При этом, член

$$\frac{A}{(\alpha_1 + j\omega)(\alpha_2 + j\omega)} \quad (6)$$

описывает избирательные свойства источника излучения.

Апериодический множитель

$$\frac{B}{\beta + j\omega} e^{-c\bar{\tau}}$$

– несет информацию об исследуемом георазрезе, $\bar{\tau}$ - запаздывание сигнала в георазрезе.

Множитель (6) можно также записать через электрический аналог механической модели передачи усилия излучателя на подстилающий грунт [2]:

$$\frac{A}{(\alpha_1 + j\omega)(\alpha_2 + j\omega)} = \frac{J_p C_н}{1 + j\omega C_н R_н + \omega^2 m_{пр} C_н} \quad (7)$$

$$J_p = \frac{M_{гр} m_{пр} (V_1 - V_2)}{M_{гр} + m_{пр}}$$

Здесь:

$M_{гр}$ - масса рабочей плиты излучателя;

$m_{пр}$ - масса присоединенного объема грунта;

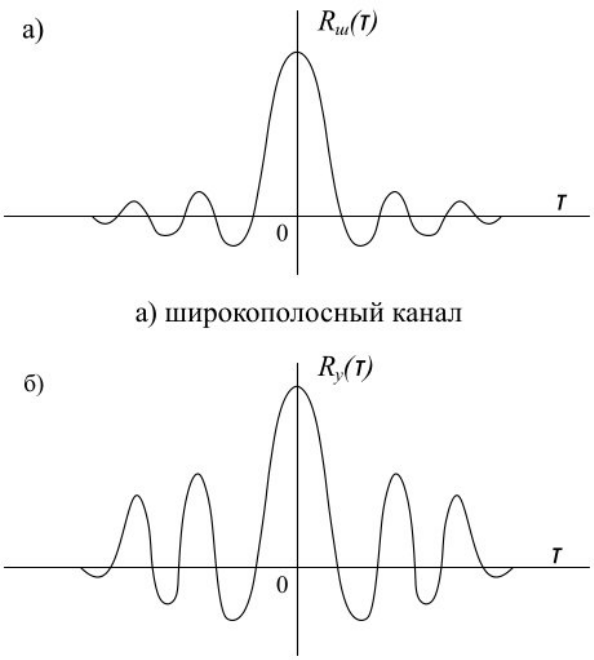
$V_1$, $V_2$ - скорости тела до удара и после него;

$C_н$ - параметр упругих свойств грунта.

Резонансная частота:

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{m_{пр} C_н}}$$

Прохождение ПСП через такой канал кардинально изменяет вид свертки ПСП, снижает разрешающую способность по дальности и вносит существенную зависимость от параметров грунта (рис. 1).




а) широкополосный канал

б) узкополосный канал

▲ *Рис. 1. Вид автокорреляционной функции ПСП*

Таким образом, неучет фактора (5) приводил, на наш взгляд, к неудачам создания конкурентоспособного кодоимпульсного источника.

В вибраторах фактор частотной зависимости сейсмического канала учитывается подбором формы свипа (адаптивный источник).

Создание адаптивного кодоимпульсного ПСП источника возможно лишь за

▼ *Табл. 1.*

| Параметр | Тип грунта | | | |
|---|---|---|---|---|
| | лед | мел | песок | грязь, мелкая глина |
| $C_н$м/н | 2,3 x $10^{-10}$ | 0,79 x $10^{-10}$ | 1,3 x $10^{-9}$ | 1,2 x $10^{-8}$ |
| $R_н$(нс)/м | 3,25 x $10^6$ | 7 x $10^6$ | 2,15 x $10^6$ | $10^5$ / $10^6$ |
| $m_{пр}$, кг | 520 | 770 | 1240 | 150 |
| fp, Гц | 460 | 640 | 130 | 38 |

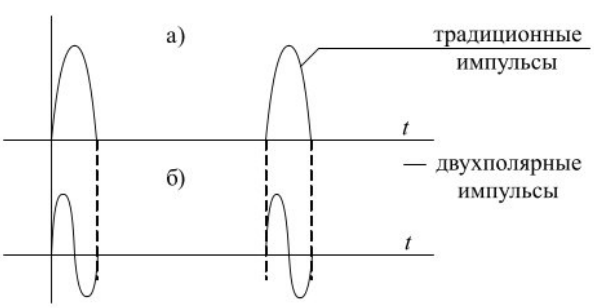
счет введения операции «выбеливания» сейсмического канала. Здесь «выбеливание» является производной от термина «белый шум» (широкополосный шум).

Это означает, что (5) нужно умножить на обратную функцию частоты:

$$\Phi_{зб}(j\omega) = (\alpha_1 + j\omega)(\alpha_2 + j\omega) \qquad (8)$$

Реализовать подобную операцию можно путем двойного дифференцирования сигнала в приемнике, но лучше учесть в конструкции излучателя, например введением режима двух- полярного возбуждения, т.е. излучения импульса вида (Рис. 2 б).

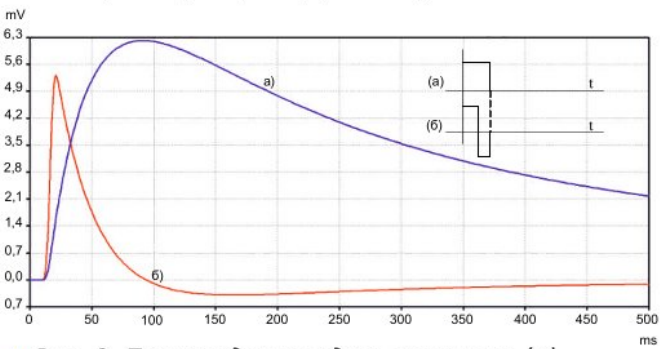
Целесообразным вариантом получения равномерной спектральной функции излучаемого сигнала является подбор формы спектра тока возбуждения импульсного источника, обратной (5), путем нелинейно изменяемой частоты в свипе, либо периода повторения импульсной последовательности [1, 3].




▲ *Рис. 2. Форма импульсов излучения «Енисей КЭМ-4» (а) и двухполярного КДИ (б)*

На рис. 3 показаны расчетные эпюры прохождения однополярного и двухполярного прямоугольного сигнала длительностью 5 мс через фильтр нижних частот с ограниченной сверху полосой в 100 Гц.

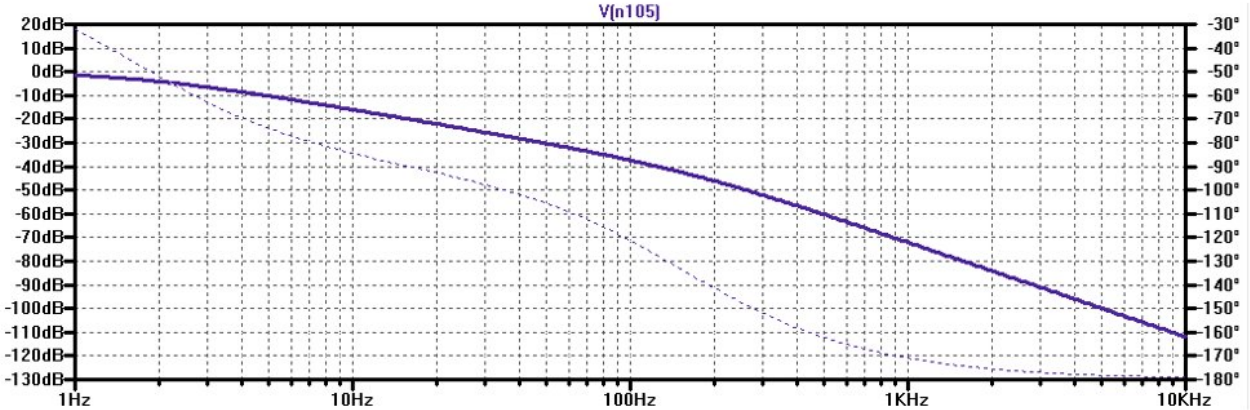
АЧХ фильтра приведена на рис. 4.




▲ *Рис. 3. Прохождение однополярного (а) и двухполярного сигнала (б) прямоугольных импульсов через фильтр нижних частот (а) однополярный импульс; (б) двухполярный*

Как видно из этого рисунка, двухполярный режим дифференцирует передаточную характеристику среды, т.е. в выражении (5) убирает один частотный полюс, уменьшает эффективную длительность сигнала излучения и тем самым расширяет спектр излучаемых сигналов в сторону высоких частот.

Второй полюс в (5) может быть убран за счет модуляции амплитуды импульсов в ПСП в зависимости от измеряемых специальными датчиками свойств подстилающего грунта, т.е. введением адаптивного режима управления импульсного излучения.




▲ *Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра*

Физически это означает, что двухполярный режим, убирая постоянную составляющую зондирующего сигнала, существенно снижает начальный запас энергии в колебательной системе источника плита – активная зона грунта. Одним из вариантов компенсация второго полюса в (5) может быть дифференцирование сигнала на приемной стороне.

В адаптивном варианте [3], безусловно, необходимо включить в состав источника управляющие датчики параметров грунта – упругости и вязкости.

Таким образом, режим КДИ на базе импульсной технологии заслуживает внимания разработчиков, поскольку обеспечивает ощутимые преимущества. Вместе с тем, для создания конкурентоспособного источника КДИ требуется проведение дополнительных исследований.

**Литература**

1. Ю. П. Кострыгин, Д. А. Колесников. Исследование возможностей кодоимпульсного метода сейсмической разведки. Приборы и системы разведочной геофизики. Саратов, ЕАГО, 2012, №3, с. 73-79.

2. М. Б. Шнеерсон, В. В. Майоров. Наземная невзрывная сейсморазведка. М.: Недра, 1988, 235 с.

3. А. П. Жуков, И. В. Тищенко, Р. М. Калимулин и др. Адаптивная вибросейсморазведка в условиях неоднородного строения верхней части геологического разреза. Технология сейсморазведки. 2011, №2, с.5-22.

4. В. А. Детков, В. В. Ивашин, И. Г. Федотов, Г. Я. Шайдуров. Способ невзрывного воздействия на грунт при сейсмической разведке.

5. Патент РФ 2372629 от 2.06.2008.

# Предложение

Цыпышев Н.Н., ЗАО «НПЦ «ГеоСейсКонтроль», г.Москва

О том, что на данной площади в Казахстане рано или поздно будут проведены сейсморазведочные работы (СРР) МОГТ 3Д, было известно несколько лет назад, с момента завершения здесь сейсморазведочных работ МОГТ 2Д-ВРС, в которых я участвовал в качестве супервайзера. Заказчик исподволь готовился к ним, я тоже, сообщив свое мнение о необходимых параметрах съемки 3Д с центральной симметричной системой наблюдений (и о необходимости продолжения ЛПП за контур ПВ) и рецензируя предлагаемые варианты.

Проектные методические условия и технические параметры съемки (отличающиеся от предлагавшихся мною) уже были известны, когда я задумался о возможности удешевления производственных работ в интересах их Исполнителя и в то же время о повышении качественных и количественных показателей методики этих работ в интересах Заказчика. Кстати запланированный отдых в санатории в Белоруссии позволил заняться этой, интересной в первую очередь мне самому, проблемой.

При планировании в «Пикезе» различных вариантов съемок для данного объекта исходная установка была следующей: при постановке сейсморазведочных работ МОГТ 3Д в пустынных районах с применением взрывного глубинного источника возбуждения колебаний экономичным является использование максимально большего количества регистраторов при одном физическом наблюдении (взрыве). В процессе анализа получаемых контрольных характеристик ряда вариантов сам собой определился другой, на первый взгляд парадоксальный, вывод: при некоторых не очень существенных методических допущениях (отклонениях, можно сказать) возможно серьезное удешевление работ, к тому же при улучшении качественных и количественных показателей съемки!

В обоснованности вывода можно убедиться, рассмотрев для примера три варианта методики работ на объекте (фактически их было рассмотрено, конечно, намного больше): проектный, «экстремальный» (далее без кавычек) и предлагаемый для осуществления взамен проектного – «предложение» (далее тоже без кавычек).

Для конкретных пустынных условий площади, где для получения сейсмической записи хорошего качества глубина заложения заряда, по данным предыдущих работ 2Д, составляет 20 м – 30 м, актуальным является уменьшение объемов бурения (количества пикетов возбуждения в данном случае). Именно в этом направлении и были направлены исследовательские поиски приемлемого для обеих сторон (Заказчика и Исполнителя) модернизированного варианта съемки 3Д.

Для проектной системы наблюдений кратностью 77 на изучаемой площади количество пунктов приема при одном возбуждении составляет 1848. При увеличении этой характеристики, например, до 2800 можно уменьшить общее количество физических наблюдений (количество ПВ, или объем буровзрывных работ) до 20% (табл. 1).

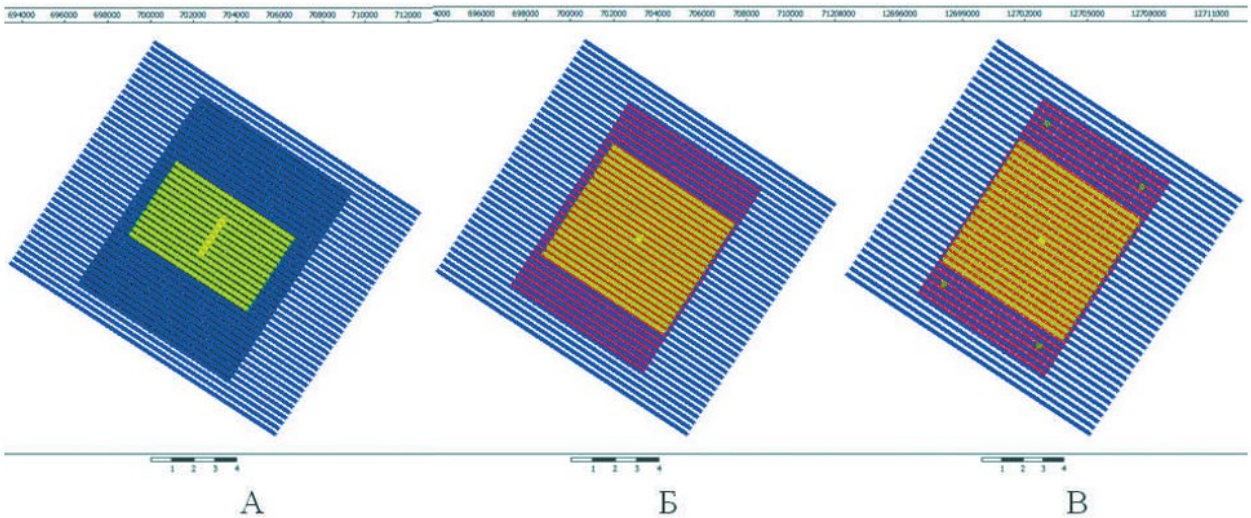
В данном тексте (для сравнения с проектной сеткой профилей ПП-ПВ 300 м х 300 м с шаблоном возбуждения 42 ПВ и шаблоном приема из 14-ти линий) рассматриваются конкретно два варианта: проектная сетка линий приема-возбуждения 300 м х 300 м и сетка 350 м х 350 м с шаблонами возбуждения, соответственно, 6 ПВ и 7 ПВ и с шаблоном приема из 20-ти линий ПП в обоих вариантах (рис.1, табл.1). Распределения кратности и карты кратности рассматриваемых вариантов съемок приведены на рис. 2 и 6.

Вследствие такого существенного увеличения количества приемных линий в шаблоне приема расчетная кратность по оси Y в экстремальном и предлагаемом вариантах возрастает с проектной величины 7 до 11-ти и 10-ти единиц, соответственно, а максимальная кратность системы наблюдений в пределах оговоренной геологическим заданием площади 50 кв. км полной кратности увеличится с 77 единиц до 80 - 110 (экстремальный вариант) или до 80 - 100 (предлагаемый вариант).

В обоих вариантах, экстремальном и предлагаемом, вместо шаблона возбуждения из 7-ми интервалов между линиями приема (7 х 6 = 42 ПВ) применяется шаблон из одного (центрального) интервала (6 и 7 ПВ, соответственно). В этом случае система наблюдений становится максимально приближенной к центральной симметричной с коэффициентом азимутальности Y/X около 1, то есть практически полноазимутальной. Это позволяет значительно улучшить распределение удалений и азимутов в бинах по сравнению с проектным вариантом работ (рис. 3 - 5, 8 - 10), то есть получить при обработке адекватные результаты

▼ *Табл. 1. Сравнение параметров альтернативных методик МОГТ 3Д*

| ПАРАМЕТРЫ | ПРОЕКТ | ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ | ПРЕДЛОЖЕНИЕ |
|---|---|---|---|
| общая площадь проекта (кв. км) | 181.55 | 166,1 | 186.2 |
| площадь кратности 77 и более (кв. км) | 51.84 | 51.84 | 51.45 |
| в том числе кратности: 77 - 90<br>91 - 100<br>101 - 110 | -<br>-<br>- | 14.76 - 28.5 %<br>6.84 - 13.2 %<br>30.24 - 58.3 % | 17.64 - 34,3 %<br>33.81 - 65.7%<br>- |
| шаблон ПВ | 7 х 6 = 42 | 1 х 6 = 6 | 1 х 7 = 7 |
| шаблон ПП | 14 х 132 = 1848 | 20 х 128 = 2560 | 20 х 140 = 2800 |
| количество ЛПВ | 28 | 24 | 21 |
| количество ПВ | 5880 | 4752 | 4704 |
| количество ПВ относительно проекта (%) | 100 | 81 | 80 |
| количество ЛПП | 42 | 42 | 39 |
| количество ПП | 12348 | 11340 | 10920 |
| количество трасс | 10866240 | 11975040 | 12306840 |
| удаление ПВ - ПП миним. (м) | 35.4 | 35.4 | 35.4 |
| удаление ПВ - ПП максим. (м) | 4424.6 | 4425.4 | 4914.4 |

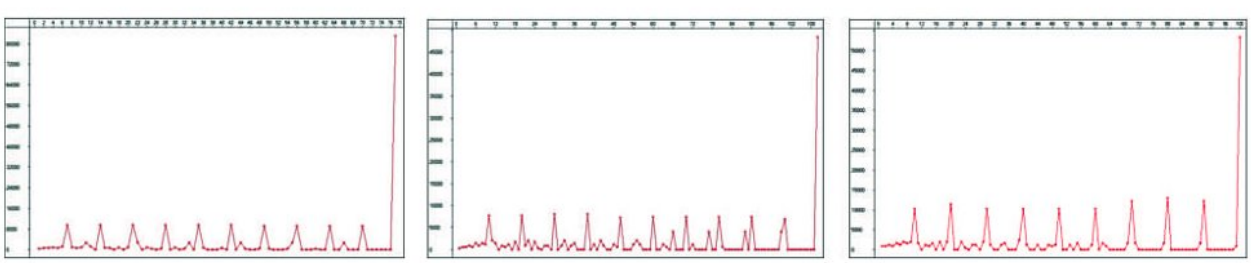



▲ *Рис. 1. Схемы размещения ПГН на объекте и шаблоны возбуждения - приема:*
*А. Проект. Возбуждение: 42 ПВ; прием - 14 ЛПП х 132 ПП.*
*Сетка ЛПП х ЛПВ 300 м х 300 м.*
*Б. Экстремальный вариант. Возбуждение: 6 ПВ; прием - 20 ЛПП х 132 ПП.*
*Сетка ЛПП х ЛПВ 300 м х 300 м.*
*В. Предложение. Возбуждение: 7 ПВ; прием - 20 ЛПП х 140 ПП.*
*Сетка ЛПП х ЛПВ 350 м х 350 м.*

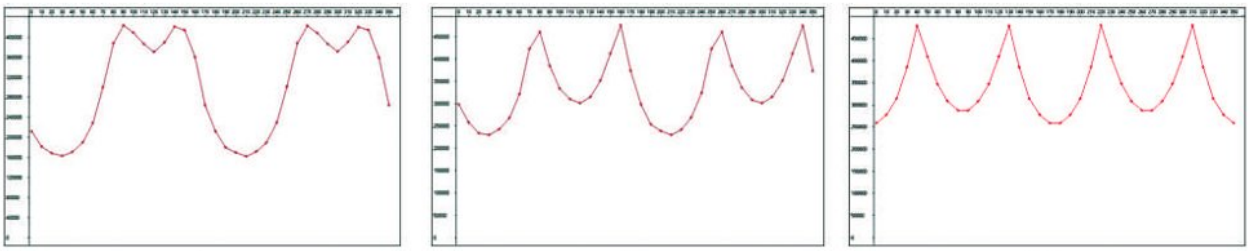
азимутального AVO-анализа с целью выявления зон трещиноватости на всех целевых уровнях. Да и другие задачи интерпретации будут решаться увереннее.

Увеличение расстояний между ЛПВ и ЛПП на 50 м в рекомендуемом автором варианте уменьшит кратность на уровне самых верхних целевых горизонтов (глубина их залегания примерно 2500 м) в среднем на 5 единиц по сравнению с проектной величиной (с 40 - 50-ти до 35 - 45-ти) (рис. 7). В экстремальном варианте, напротив, на этом удалении кратность в среднем увеличится на 5 единиц (тот же рис.).

Несмотря на это, по совокупности факторов, в первую очередь из-за большей равномерности распределения удалений, более узкой (700 м) переходной зоны повышения кратности в области номинальной проектной кратности, то есть из-за лучших в целом характеристик съемки (рис. 3 – 5, 9, 10), автор выбрал для исполнения тот вариант, который назвал «предлагаемым».

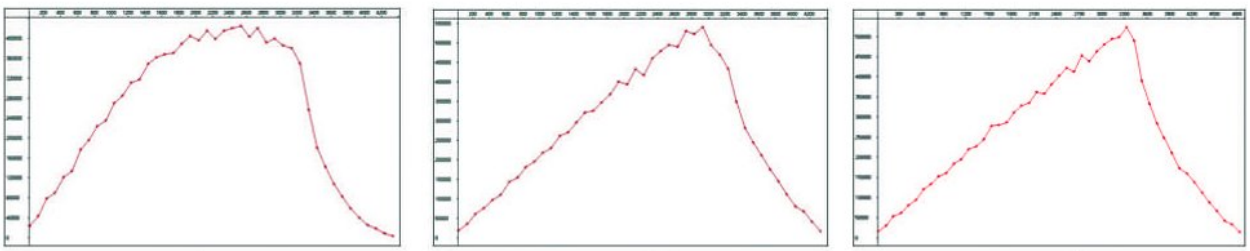



▲ *Рис. 2. Распределения кратности: А - проект (макс. 77);*
*Б – экстремальный вариант (макс. 110); В - предложение (макс. 100).*



А Б В

▲ *Рис. 3. Распределения азимутов ПВ-ПП: А - проект; Б - экстремальный вариант; В - предложение.*



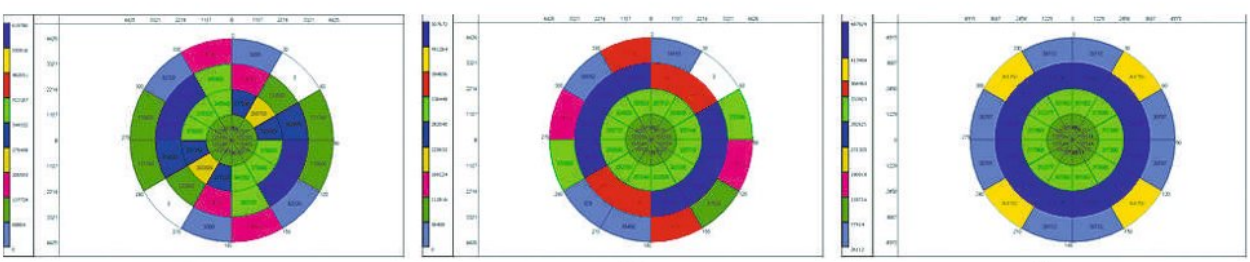
А Б В

▲ *Рис. 4. Распределения удалений ПВ-ПП: А - проект; Б - экстремальный вариант; В - предложение.*

В целом, учитывая большие (комплексные) затраты на бурение скважин и относительно меньшие (финансовые) - на приобретение дополнительного оборудования (которое к тому же будет эксплуатироваться и в следующих проектах), уменьшение затрат на содержание партии за счет экономии во времени, замена методик по общей стоимости работ для Исполнителя явно выигрышная. Однако, и для Заказчика работ изменение методики МОГТ 3Д позволяет решить поставленные геологические задачи с более высокими качественными и количественными показателями съемки.

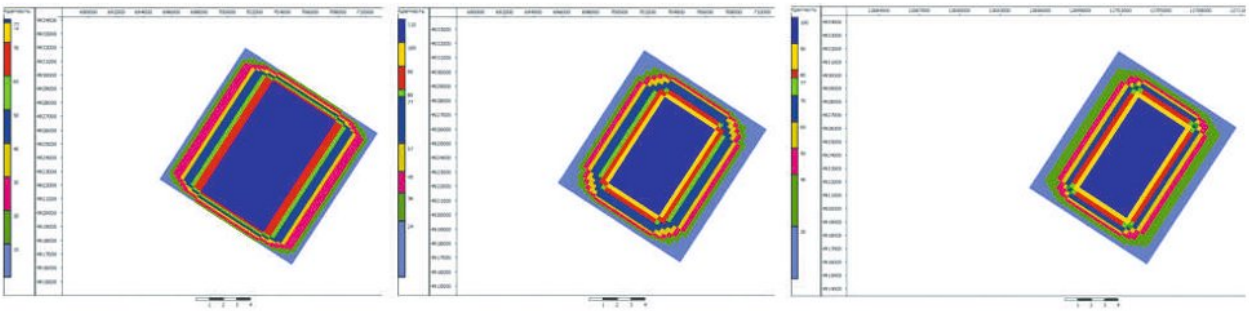
Что оказалось в итоге. У Исполнителя сейсмического оборудования для партии нашлось всего лишь на 2000 каналов, лицензия на увеличение количества активных каналов сейсмостанции сверх этой величины отсутствовала, поэтому обсуждать, а тем более предлагать Заказчику какие-то изменения в методике работ, было бессмысленно.

Кроме неудачи с экономичным улучшением качества съемки, я сожалею о несостоявшемся проекте еще по двум

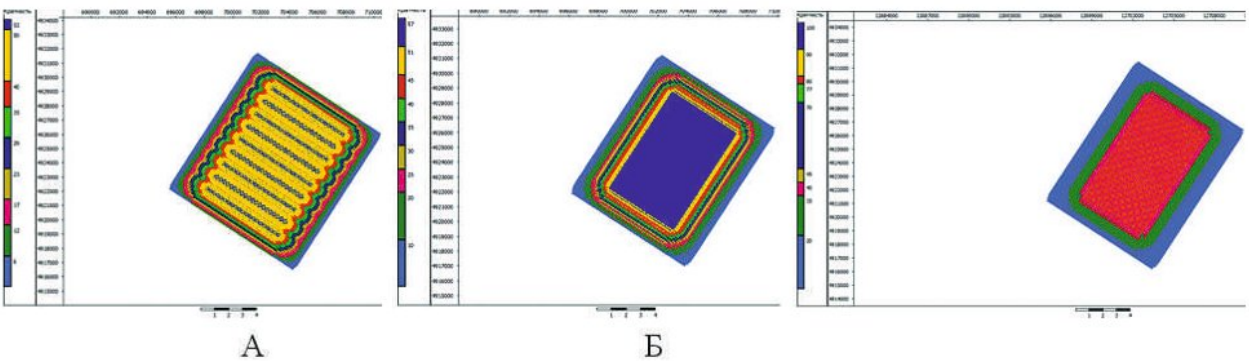


А Б В

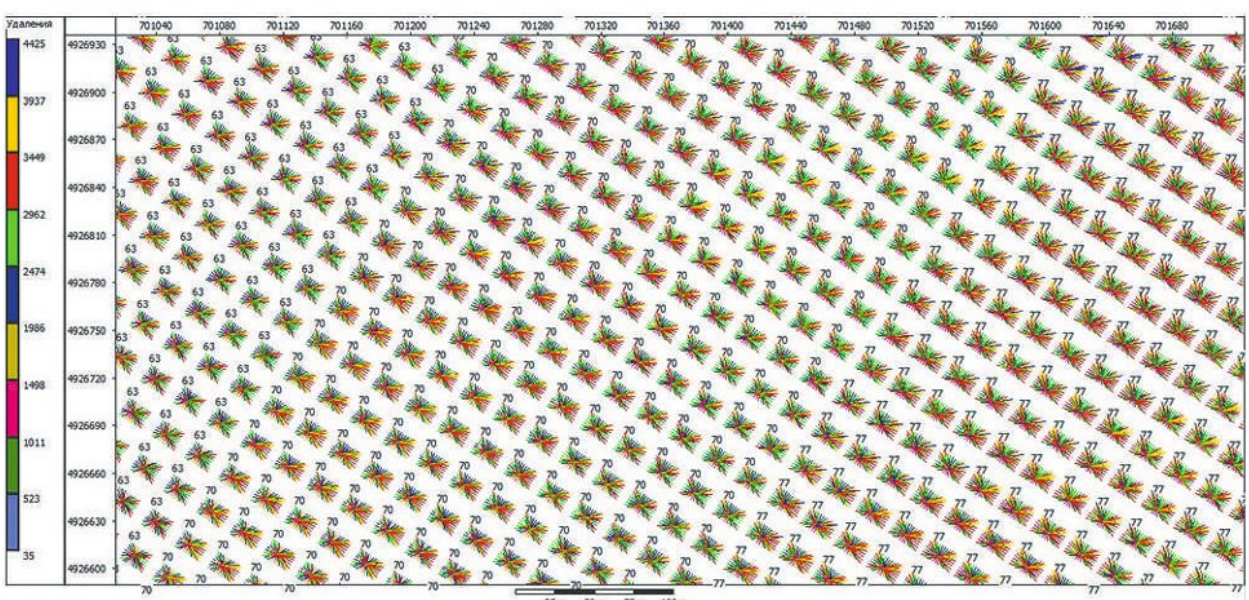
▲ *Рис. 5. Роза-диаграммы распределения трасс по удалениям и азимутам: А - проект; Б – экстремальный вариант; В - предложение.*



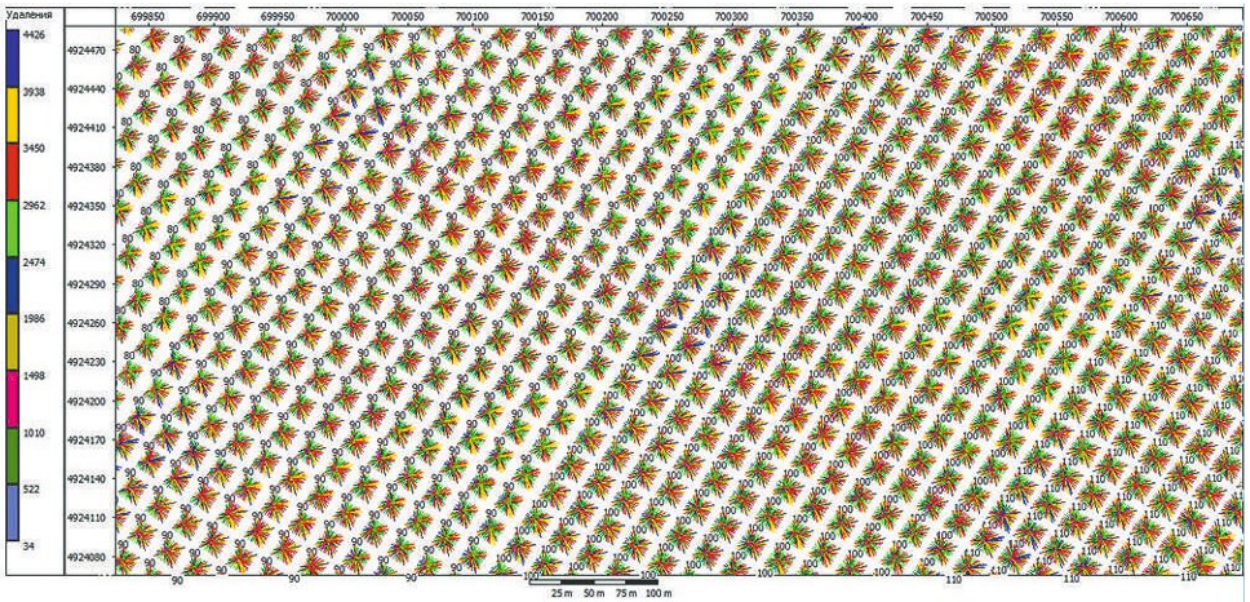

▲ *Рис. 6. Карты кратности. А – проект (макс 77);*
*Б - экстремальный вариант (макс. 110); В – предложение (макс. 100).*



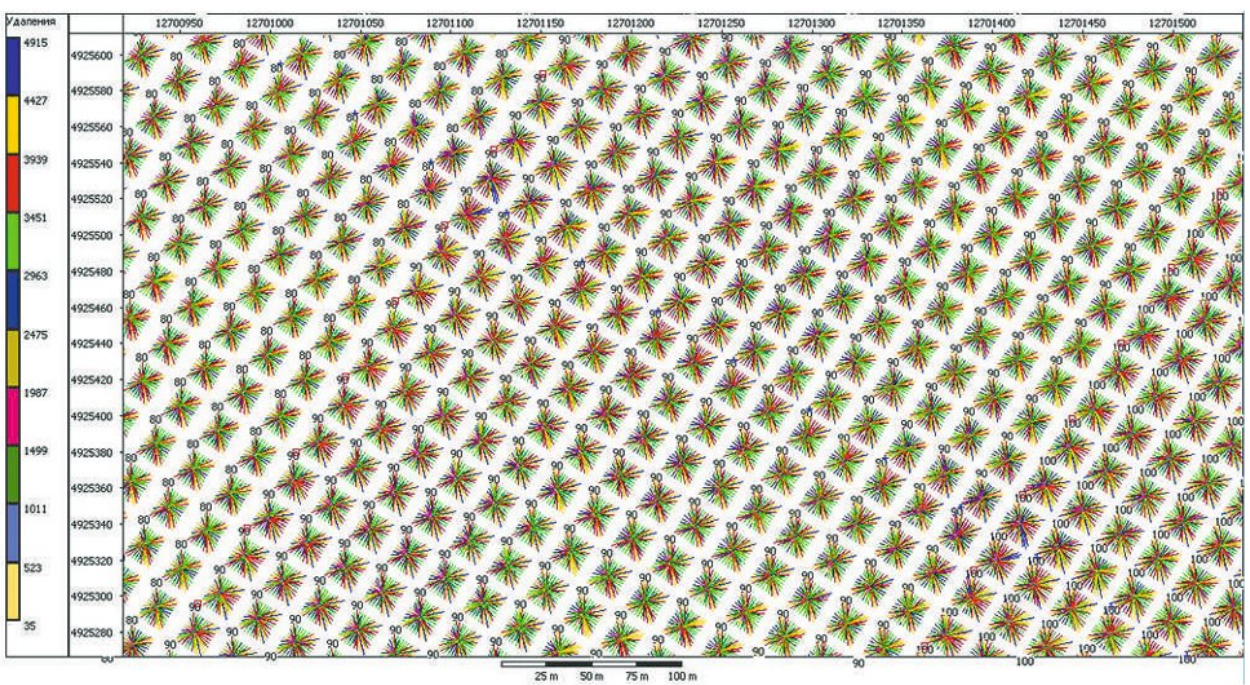

▲ *Рис. 7. Карты кратности на удалениях ПВ – ПП до 2500 м.*
*А – проект (40 – 50); Б - экстремальный вариант (45 – 57); В – предложение (35 – 45).*



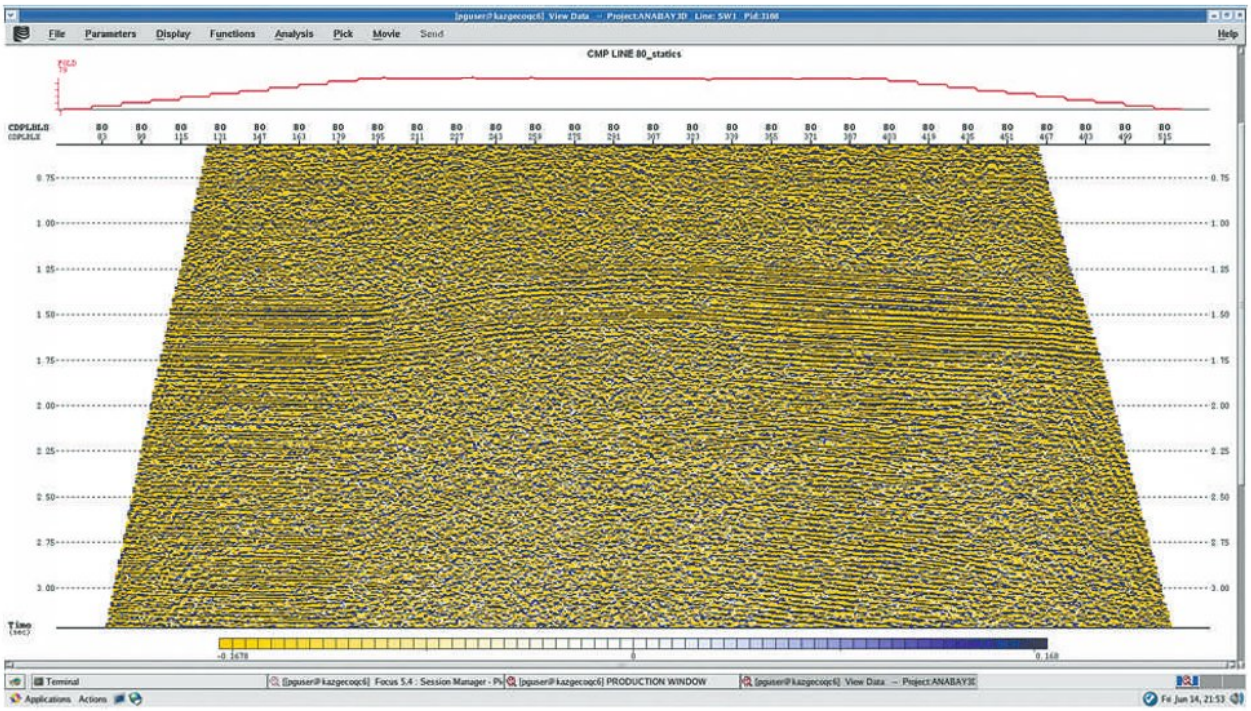

▲ *Рис. 8. Фрагмент картины распределения азимутов и удалений в бинах*
*в зоне кратности 63 – 77 единиц. Проект.*




▲ *Рис. 9. Фрагмент картины распределения азимутов и удалений в бинах в зоне кратности 80 – 110 единиц. Экстремальный вариант.*




▲ *Рис. 10. Фрагмент картины распределения азимутов и удалений в бинах в зоне кратности 80 – 100 единиц. Предложение.*




▲ *Рис.11. Временной разрез inline – 80 (блок 5 – север площади).*

причинам: во-первых, не удалось в натуре оценить качество сейсмического куба экспериментальных данных и тем самым более обоснованно судить о возможности применения подобных изменений в методике полевых работ в дальнейшем; во-вторых, я, по крайней мере на месяц раньше, вернулся бы домой с полевых работ.

В заключение, в качестве примера результата реализованной на объекте проектной съемки на рис. 11 приводится предварительный временной разрез inline 80 по северному блоку 5. На разрезе хорошо прослеживаются отражения в целевом интервале даже при кратности 30 единиц. Поэтому предлагаемый выше вариант с сеткой 350 м х 350 м оправдался бы в полной мере (в этом я был достаточно уверен заранее, зная методику получения качественных сейсмических записей при взрывах в районе работ).

Таким образом, полагаю, для небольших компаний - заказчиков СРР МОГТ 3Д, не слишком отягощенных формальным подходом к проектированию этих работ, нацеленным «на окончательный результат», предлагаемое направление модернизации методики полевых наблюдений МОГТ 3Д может быть интересно.

**Подробнее об авторе**

Цыпышев
Николай Николаевич

менеджер по полевым работам ЗАО НПЦ "ГеоСейсКонтроль"

ISSN 2074-8906

# ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2002 г.

## 2002-2013

По вопросам подписки, размещения рекламы:

8 (8452) 64-14-32

paturlov@mail.ru

# Электронные словари – кто победил, кто проиграл?

Череповский А.В., SERCEL, г.Москва

Электронные двуязычные и многоязычные словари стали появляться тогда, когда их платформа – персональные и портативные компьютеры – стала массовой и доступной, то есть около 20 лет назад. И уже более 10 лет в Интернете ведутся энергичные споры о сравнительных достоинствах и недостатках электронных и бумажных словарей. Я тоже хочу высказать свою точку зрения, хотя хорошо известно, что пользователи (переводчики и технические специалисты) уже сделали свой выбор в пользу электрон-ных словарей. Если судить по цифрам продаж, то электронные словари одержали полную и безоговорочную победу. Конечно, кому интересно покупать дорогие, увесистые и узкоспециальные книги и, тем более, таскать их с собой на работу и в командировки, если на рынке предлагается целый ряд электронных словарей, занимающих не так уж много компьютерной памяти, но содержащих миллионы терминов... К тому же, некоторые производители электронных словарей приняли новую бизнес-модель и предлагают свои переводные многоязычные словари в Интернете совершенно бесплатно! К числу таких относятся «Мультитран» и «Академик».

Понятно, что противостоять современным тенденциям рынка печатных изданий не может никто. Вот и знаменитый американский еженедельник Newsweek, как и некоторые другие авторитетные периодические издания, распространявшиеся преимущественно в Западном полушарии, в прошлом году объявил о полном отказе от своей бумажной версии и переориентации на интернет-аудиторию. Аналогичная ситуация и с бумажными словарями: например, я опасаюсь, что третье издание составленного мною «Англо-русского и русско-английского словаря по прикладной геофизике» (2008 г.), выпущенное тиражом всего 1500 экз., станет последним, поскольку продается оно в 10-15 раз медленнее, чем предыдущие издания в середине и конце 90-ых годов двадцатого века.

Электронные словари одержали победу над бумажными предшественниками благодаря явному превосходству по множеству параметров: цена, объём словников, скорость и простота поиска. Но это всё скорее *количественные*, а не *качественные* показатели. Ожидалось, что электронные словари станут не просто введёнными в компьютер бумажными словарями, снабжёнными удобными средствами поиска и отображения, а «*особыми лексикографическими объектами, в которых могут быть реализованы многие продуктивные идеи, не востребованные по разным причинам в бумажных словарях*» (В.Селегей, «Электронные словари и компьютерная лексикография»). В своей статье, написанной более 10 лет назад, Селегей предлагал рассматривать «*компьютерную лексикографию как особое направление в практической лексикографии со своими собственными подходами не только к отображению, но и к содержанию словаря*».

Помимо перечисленных выше количественных показателей, к потенциальным преимуществам электронных словарей изначально относили частую обновляемость и коллективное авто-

рство. В упомянутой выше статье Селегей утверждал: «*Для электронных словарей характерны частая смена версий и наличие постоянной обратной связи с тысячами пользователей. Поэтому компьютерная лексикография – это неизбежно актуальная лексикография*». Но он сразу же делал оговорку, что «*речь идёт о тенденциях, потенциальных возможностях компьютерной лексикографии, часть которых ещё не реализована или даже ещё не осознана*». Стали ли эти потенциальные возможности реальностью за последние 10 лет? Поднялось ли *содержание* электронных переводных словарей на какую-то *качественно* новую ступень за последнее десятилетие? Так ли распространена «частая обновляемость» и так ли положительно «коллективное авторство»? Я хочу показать, что на практике всё неоднозначно, как и со многими другими благими идеями и намерениями... Сначала о **частой обновляемости**.

Лицензированные электронные словари, ставшие популярными в 90-ые годы прошлого века – такие как Lingvo (компании «ABBYY») и Контекст (компании «Информатик») – родились и расширялись, в основном, благодаря копированию старых добрых бумажных переводных словарей. Несмотря на миллионы пользователей этих программных продуктов, они оставались малоприбыльными – в том числе из-за очень высокой распространённости пиратских («взломанных») версий, до недавнего времени продававшихся на каждом углу по бросовой цене... Низкая прибыль, естественно, не позволяла содержать большой штат лексикографов и редакторов-экспертов и лишала возможности расширять тематику электронных словарей за счёт приобретения новых специализированных бумажных словарей у авторов и издателей. В результате, бумажные словари по многим темам и отраслям переиздавались и обновлялись гораздо чаще, чем соответствующие разделы в ведущих электронных словарях, и совершенно несправедливо обобщать, что бумажные словари – это терминологические кладбища или неизбежно устаревшие словари. Далеко не все из них. Опишу ситуацию в геолого-геофизической отрасли, в которой я сам работал и работаю и как специалист, и как переводчик.

Раз в несколько лет я публикую обновлённые и расширенные на несколько тысяч терминов бумажные англо-русские/русско-английские словари по прикладной геофизике (1997, 2002, 2008 гг.), небольшими тиражами от 1000 до 1500 штук. А вот что касается самых известных электронных словарей, то там геология и геофизика не обновлялась с конца прошлого века. Например, в Lingvo геофизическую тематику можно найти только в «Большом англо-русском словаре по нефти и газу», являющемуся копией бумажного словаря, подготовленного большой группой переводчиков ВНИИГАЗа под руководством Е.Г.Коваленко и изданного в «РУССО» (Москва, 1998 г.). За прошедшие 15 лет этот словарь ВНИИГАЗа не подвергался существенному редактированию или обновлению в Lingvo, судя по тем ошибкам и опечаткам – увы, многочисленным, – которые были и в исходном бумажном словаре. Чтобы не выглядеть голословным, наверное, здесь стоит привести несколько примеров, понятных не только узким специалистам. Например, несмотря на помету *сейсм.*, никакого отношения к сейсморазведке следующие термины

не имеют:

**neutron response** – *сейсм.* сигнал нейтронного каротажа

**shear of magnetic field** – *сейсм.* сдвиг магнитного поля

Последний «термин», честно говоря, не понятен ни на одном языке... Есть, казалось бы, не такие уж значительные погрешности, но они коробят ухо и глаз геолога или геофизика: например, за термином «поправка» всегда идёт предлог ЗА, а не НА, и следующие термины давно нужно было подправить:

**low-velocity-layer correction** – поправка ~~НА~~ ЗА зону малых скоростей

**geometrical spreading correction** – поправка ~~НА~~ ЗА геометрическое расхождение

**spherical divergence correction** – поправка ~~НА~~ ЗА сферическое расхождение, и т.д.

Можно привести целый ряд грубых ошибок, вызванных невнимательностью составителей и неправильным переводом на русский язык:

**composite seismogram** – сейсмограмма со смещением(?)

**high-density data** – *сейсм.* данные с низкой(?) кратностью наблюдений

**low-velocity-layer thickness** – *сейсм.* мощность низкосортного(?) слоя

**receiver array** – продольная(?) группа

**very-low frequency energy** – *сейсм.* энергия волн в инфракрасном(?) диапазоне

Не вполне понятно, почему Селегей, руководитель лексикографических проектов в компании ABBYY, в той же статье, о которой говорилось выше, так иронично отозвался о «тестерах», бескорыстно высылающих свои поправки или предложения по улучшению словарей в Lingvo: «*Жизнь электронного словаря должна быть похожа на нелёгкую жизнь других программных систем: с маниакальным стремлением особо вредных пользователей обнаружить очередную ошибку или лакуну...*» Надо сказать, что я не раз предлагал свои услуги по обновлению геолого-геофизической тематики и исправлению ошибок во время нескольких встреч с менеджерами компании ABBYY, но контакт не получился: «У нас свои эксперты!». Да и прикладная геофизика дружно рассматривается ими как слишком узкая область, ради которой не стоит прилагать усилия по обновлению. Заметим, что это примерно 15000 терминов. Что тогда говорить о действительно узкоспециальных бумажных словарях (мелких рыбах!), объёмы которых составляют одну или две-три тысячи терминов. Дойдёт ли когда-нибудь «электронизация» до таких редких книг:

- Горбачёв Ю., Кузнецов О., Хозяинов М., Краткий русско-английский справочник по геофизическим исследованиям скважин. – Москва, 1993 г.
- Рыбников А.Н., Глозман Т.Г., Русско-английский сборник слов и терминов, используемых при проведении геофизических работ. – Санкт-Петербург, 2008 г.

Такие переводные словари очень интересны тем, что содержат редкие терминологические эквиваленты, которые больше нигде не найдёшь. Но их тиражи настолько малы, что они распространяются, по большей части, среди друзей и коллег, и профессиональные переводчики вряд ли найдут их в книжных магазинах и на уличных развалах.

Всё сказанное выше о лицензированных (продажных) электронных словарях относится и к более молодому поколе-

нию многоязычных онлайн-словарей (бесплатных в Интернете), таких как «Мультитран» и «Академик». Тайна возникновения «собственных баз данных» объёмом в миллионы слов и словосочетаний в онлайн-словарях – это предмет отдельного исследования. Здесь я просто констатирую, что у этой Интернет-медали две стороны: рай для потребителей и кошмар для правообладателей и продавцов книг. В России известны случаи рассмотрения в судах исков о заимствовании словарей, но такие гражданские дела могут длиться годами и, как правило, не заканчиваются в пользу истцов (в большинстве своём, авторов специализированных бумажных словарей). Даже в Европе, где суды считаются независимыми, два дела о плагиате были проиграны истцами-лексикографами (со слов одного из менеджеров Европейской ассоциации геоучёных и инженеров из Нидерландов).

Видимо, авторам словарей (и других книг) нужно морально и материально готовиться к неизбежному: свободному распространению информации во всемирной «паутине». Как известно, сторонники такой идеи уже зарегистрировали в Швеции своё движение как новую «религию». Правда, трудно себе представить дальнейшую работу смиренных энтузиастов-лексикографов, годами собирающих свои глоссарии, которые им НИ-ЧЕГО не принесут. Ни денег, ни славы. Ведь Интернет и сегодня очень мало заботится об авторстве, и онлайн-словари не только бесплатные – они ещё, как правило, и безымянные!

Рентабельность онлайн-словарей (или «переводческих Интернет-ресурсов») зависит, в первую очередь, от рекламодателей. Но покупку авторских специализированных словарей и содержание большого штата разноплановых редакторов сложно «отбить» за счёт размещения рекламы. Поэтому недостатки онлайн-словарей точно такие же, как и у лицензированных электронных словарей. Нетрудно убедиться в том, что, к примеру, в «Мультитране» геофизическая терминология относится к тому же 1998 году, что и в Lingvo, – правда, ссылки в «Мультитране» даются непосредственно на составленный мною англо-русский словарь по прикладной геофизике. Анализ словников «Мультитрана» и «Академика» показывает, что источники геолого-геофизической терминологии были, без сомнения, одни и те же и не обновлялись с 1998 года. А за это время вышел не один десяток бумажных переводных и толковых словарей по геологии, геофизике, нефти и газу. Например, такие фолианты:

- Толковый словарь английских геологических терминов, в 2-х томах, под ред. Дж.А.Джексон. Перевод с англ., отв. редактор Н.В.Межеловский. – Москва, «Геокарт», 2002. (546 с. и 644 с.)
- Англо-русский энциклопедический словарь по геофизике, под ред. В.А.Ерхова и А.В.Михальцева. – Москва, ООО «Агентство ЭМП» и ЗАО «Геодар», 2009. (940 с.)

Справедливости ради надо сказать, что другим динамично развивающимся отраслям, представленным в Lingvo, повезло гораздо больше: в первую очередь можно отметить высокопрофессиональную работу Е.Масловского и Э.Пройдакова, постоянно обновляющих и расширяющих англо-русские словари по вычислительной технике, Интернету и программированию.

Теперь о **коллективном авторстве**. Во все времена даже самые объёмные толковые и переводные словари составляли, как правило, индивидуально, а не коллективно. Кто не знает имя В.И.Даля и его «Толковый словарь живого великорусского языка» (около 200000 слов и 30000 пословиц)? Но кто-то может вспомнить и знаменитый тандем Ф.А.Брокгауза и И.А.Ефрона и их многотомный энциклопедический словарь, содержавший более 120000 статей и 7800 иллюстраций. Здесь, однако, не имело место равное партнёрство: словарь изначально вышел на русском языке как перевод статей энциклопедии Брокгауза с небольшой адаптацией для русского читателя. Ефрон, будучи владельцем типографии в Петербурге, выступал как издатель всех дореволюционных русскоязычных энциклопедий. Кстати, в расширение и редактирование энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона внёс значительный вклад наш знаменитый химик Менделеев, заведовавший химико-техническим и фабрично-заводским отделами энциклопедии.

В некоторых случаях имела место преемственность лексикографов: например, С.И.Ожегов, участвовавший в составлении «Толкового словаря русского языка» Д.Н.Ушакова до Второй Мировой войны, во второй половине 20-го века выпустил исправленные и дополненные издания «Словаря русского языка» только под своим именем. С 1970-ых годов над этим словарём также работала Н.Ю.Шведова, и с 1992 года стали выходить обновлённые издания «Толкового словаря русского языка» уже под именами С.И.Ожегова и Н.Ю.Шведовой.

Что касается крупнейших переводных словарей, то здесь тоже редко обходилось без помощников, но всегда выделялся основной автор, выполнявший львиную долю лексикографической работы и бравший на себя всю ответственность, ставя своё имя на обложку. Вспомним такой советский бестселлер как «Англо-русский словарь» В.К.Мюллера, содержавший более 53000 терминов и переиздававшийся десятки раз тиражами, превышавшими 100000 экземпляров.

В то же время, в последнее десятилетие в России выходили и такие переводные и энциклопедические словари, в выходных данных которых значилось до 20 соавторов. К сожалению, большое формальное количество авторов в современных словарях часто объясняется конъюнктурными соображениями и совсем не обязательно свидетельствует о коллективной лексикографической работе. В действительности, у каждого словаря был и есть конкретный Автор-локомотив! Почему же тогда *коллективное авторство* часто подаётся как (потенциальное) преимущество компьютерной лексикографии? Рассмотрим подробнее механизмы формирования современных электронных словарей. Их, собственно, всего два:

1) «В новые электронные мехи переливают старое доброе лексикографическое вино» (*по выражению В.Селегея*). Или приземлённее, делают салат из авторских бумажных словарей, компоненты которых уже невозможно отследить и учесть. Да и зачем? Ни имя повара, ни происхождение компонент массовому потребителю совершенно не интересны.

2) Постоянная обратная связь с десятками (сотнями?) пользователей, присылающих свои поправки, добавки и

целые глоссарии на рассмотрение штатных редакторов (в случае лицензированных электронных словарей) или непосредственно вносящих новые слова и словосочетания в общедоступную текущую версию (в случае некоторых онлайн-словарей).

Казалось бы, эти два механизма вместе должны обеспечить полноту и актуальность современных электронных словарей, но... последние на деле могут уподобиться безразмерным мешкам со всякой всячиной. «Там можно найти всё!» - радуются одни пользователи. «Там ничему нельзя верить», - расстраиваются другие. Чтобы энтропия (мера беспорядка) в этом мешке оставалась приемлемой для массового потребителя, кто-то должен энергично и компетентно вмешиваться в оба процесса. И выполнять эту колоссальную и кропотливую работу по наведению порядка должны конкретные эксперты, а не коллективы. Хорошо бы, чтобы эти эксперты были уровня Менделеева, как в описанном выше случае энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона.

Возможно, каждая компания-разработчик электронных словарей гордо заявит, что у неё есть «свои эксперты». Но, в соответствии с приведёнными в данной статье фактами, штатным экспертам упомянутых выше компаний можно предъявить следующие претензии:

1) не всем фундаментальным и прикладным наукам одинаково повезло в современных лицензионных и онлайн-словарях. Есть науки и отрасли, которые не обновляются 10-15 лет, и есть такие предметные области, которые до сих пор не попали под горячую руку тотальной «электронизации»;

2) большое количество опечаток и ошибок, перенесённых из современных бумажных словарей (которые теперь выходят в свет в многочисленных частных «издательствах» без помощи технических редакторов и корректоров...) и приумноженных неидеальным сканированием бумажных словарей;

3) опечатки и ошибки, добавленные непроверенными активистами обратной связи (тестерами).

Таким образом, потенциал компьютерной лексикографии всё ещё далёк от полной реализации. И я бы с большой осторожностью говорил о преимуществах *коллективного авторства* и тем более вообще *обезличенной лексикографии*. Мне видится, что роль личности в лексикографии преуменьшать нельзя. И если не сохранить Автора, не сохранить хоть какую-нибудь мотивацию для его подвижнической работы в эпоху (де факто) свободного распространения информации, то «переливать в новые электронные мехи» станет просто нечего.

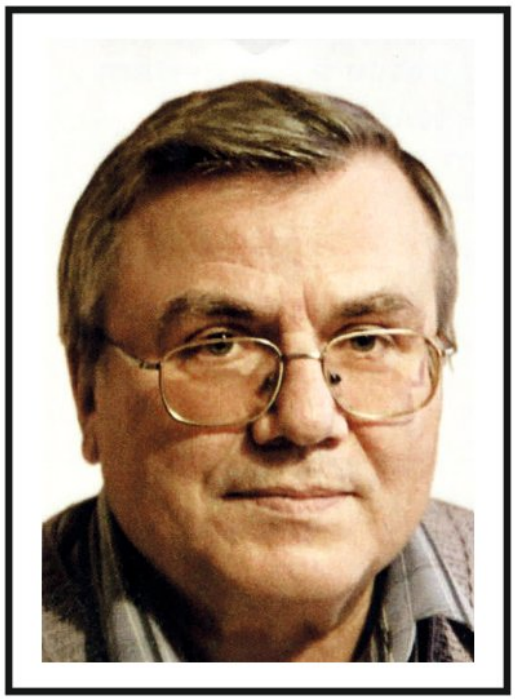
В заключение хочу выразить искреннюю благодарность доктору техн. наук Г.А.Шехтману за поддержку моих публицистических начинаний и редакцию данной статьи.

## Подробнее об авторе

Череповский
Анатолий Викторович

Региональный геофизик
компании Sercel, к.т.н;

# Памяти Виктора Викторовича Макарова



**5.09.1951 г. - 3.09.2013 г.**

3 сентября 2013 г. на 62-м году ушел из жизни Виктор Викторович Макаров.

В.В.Макаров родился 5 сентября 1951 г. в д. Алексино Калининской области. После окончания Всесоюзного машиностроительного института работал в тресте «Центргазгеофизика» Мингазпрома. Принимал участие в создании отраслевого научно-производственного комплекса геофизического приборостроения Газпрома в г. Кимры. С 1987 по 1996 г. работал в НПО «Сейсмотехника» (Гомель) главным инженером, а затем генеральным директором. При его непосредственном участии был организован серийный выпуск ряда сейсмовибраторов, успешное внедрение которых в геофизическое производство стало основой для промышленного применения вибрационной сейсморазведки в стране. В.В.Макаров занимался организацией выпуска технических средств для ГИС и нефтедобывающих предприятий (каротажные станции, агрегаты для ремонта нефтяных скважин, агрегаты для ликвидации прихвата труб в скважинах и т.д.) В 1997 г. В.В.Макаров становится главным инженером ЗАО «Геосвип» (Москва) – ведущей российской компании по выпуску сейсмических вибраторов, затем становится генеральным директором ЗАО «ТОРГОВЫЙ ДОМ «Сейсмотехника» (Москва).

В.В.Макаров автор 27 изобретений. Награжден золотой медалью ВДНХ, ведомственными наградами.

В.В.Макаров был разносторонне талантливым человеком. Он увлекался музыкой, искусством, поэзией. В 2012 г. вышел сборник его избранных стихов «Хрустальный дым». Он любил жизнь, любил людей… Но смерть неумолима. Ушел из жизни яркий, талантливый, неординарный человек, с очень тонкой и ранимой душой.

Светлая память о Викторе Викторовиче Макарове останется в памяти его коллег и друзей.

**КОМПАНИЯ INOVA ЯВЛЯЕТСЯ МИРОВЫМ ЛИДЕРОМ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ НАЗЕМНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ.**

**Мы, компания INOVA, убеждены в том, что каждый этап открытия природных ресурсов должен проводиться с одинаковой тщательностью и точностью.** Поэтому мы стремимся предлагать наиболее универсальный набор широкополосных продуктов и технологий из имеющихся на рынке в настоящее время.

Наши датчики, системы и источники возбуждения отлично взаимодействуют друг с другом, обеспечивая сбор широкополосных данных высочайшего качества, что дает возможность нашим клиентам максимально эффективно проводить процесс обработки, отображения и интерпретации данных.

Являясь мировым лидером в области полнофункционального высоко- и низкочастотного оборудования, компания INOVA обеспечивает получение достоверных результатов надлежащего качества ведущими геофизическими подрядчиками и компаниями, занимающимися разведкой и добычей.

INOVA

ВМЕСТЕ МЫ РЕШИМ ЛЮБУЮ ЗАДАЧУ!

inovageo.com/rn/broadband

# Жизнь связала с сейсморазведкой?

**Рекомендуем:** новейшая беспроводная телеметрическая система **Sercel UNITE**

GEOSEIS

Предоставление в аренду полного спектра телеметрического оборудования Sercel 408/428; бескабельной системы UNITE. Техподдержка, сервис и обслуживание геофизического оборудования. Производство импульсных источников «Геотон»

Холдинг «ГЕОСЕЙС»
Контактная информация:
Тел. (Москва):
+7 (495) 694-19-07
+7 (495) 694-19-97
Тел. (Тюмень):
+7 (3452) 48-33-72

Электронная почта:
geoton@geoton.ru
geoseis-servis@yandex.ru
geoseisltd@gmail.com
http:
www.geoseisholding.ru
www.geoton.ru